



TUGAS AKHIR - TM141585

# **PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN KOLEKTOR TERHADAP EFISIENSI TERMAL PADA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR DENGAN PENAMBAHAN EKSTERNAL *ANNULAR FIN* PADA PIPA**

**UNGGUL DWI SETYADI**  
NRP. 2112 105 023

Dosen Pembimbing  
Dr. Bambang Arip Dwiyantoro, ST., M.Eng

**JURUSAN TEKNIK MESIN**  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM141585

**EFFECT OF THE TILT ANGLE OF THE COLLECTOR  
TO THE THERMAL EFFICIENCY  
OF THE FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR  
WITH EXTERNAL ANNULAR FIN ADDITION  
ON PIPELINE**

**UNGGUL DWI SETYADI  
NRP. 2112 105 023**

**Advisor  
Dr. Bambang Arip Dwiyantoro, ST., M.Eng**

**DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING  
Faculty of Technology  
Institute of Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**

**PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN KOLEKTOR  
TERHADAP EFISIENSI TERMAL PADA KOLEKTOR  
SURYA PELAT DATAR DENGAN PENAMBAHAN  
EKSTERNAL ANNULAR FIN PADA PIPA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik pada Bidang Studi Konversi Energi  
Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

**Unggul Dwi Setyadi**  
NRP. 2112 105 023

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Bambang Arip D, ST., M.Eng.  
( NIP. 197804012002121001 ) ..... (Pembimbing)
2. Ir. Sudjud Darsopuspito, MT.  
( NIP. 194908291976031002 ) ..... (Penguji I)
3. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng Sc  
( NIP. 196604021989031002 ) ..... (Penguji II)
4. Dr. Bambang Sudarmanta, ST.,MT.  
( NIP. 197301161997021001 ) ..... (Penguji III)

**SURABAYA**  
**Januari 2015**

# **PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN KOLEKTOR TERHADAP EFISIENSI TERMAL PADA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR DENGAN PENAMBAHAN EKSTERNAL ANNULAR FIN PADA PIPA**

**Nama Mahasiswa : Unggul Dwi Setyadi**  
**NRP : 2112105023**  
**Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS**  
**Pembimbing : Dr. Bambang Arip D., S.T., M.Eng.**

## ***Abstrak***

*Kemajuan jaman saat ini banyak sekali penemuan-penemuan teknologi tentang penggunaan energi alternatif yang ramah lingkungan sebagai upaya penghematan energi. Salah satunya adalah memanfaatkan energi surya. Energi surya sebagai energi alternatif yang dirasakan sesuai dengan kondisi saat ini karena disamping murah juga bersifat renewable. Alat yang digunakan untuk menyerap energi surya salah satunya adalah pemanas air kolektor surya pelat datar. Untuk meningkatkan efisiensi dari kolektor dengan cara memperluas permukaan penyerapan panas yaitu menggunakan sirip (fin) berbentuk annular.*

*Metodologi penelitian yang kami lakukan adalah menggunakan satu dan dua kaca penutup pada kolektor dengan cara memvariasikan sudut kemiringan kolektor sebesar 10°, 20°, dan 30° pada debit air tetap yaitu 1000 liter/jam. Dimensi dari kolektor itu sendiri adalah 500 mm x 1500 mm. interval waktu pengambilan data dilakukan selang waktu 1 jam sekali selama 6 jam perhari mulai pukul 09.00 WIB sampai dengan pukul 15.00 WIB. Pengambilan data dilakukan selama 12 hari pada bulan juni 2014. Parameter yang diukur adalah Intensitas cahaya ( $I_T$ ), Kecepatan angin ( $V_w$ ), Temperatur udara luar ( $T_{\infty 1}$ ), Temperatur antar kaca penutup ( $T_{\infty 2}$ ), Temperatur dalam kolektor ( $T_{\infty 3}$ ), Temperatur permukaan kaca satu ( $T_{c1}$ ), Temperatur permukaan*

*kaca dua ( $T_{c2}$ ), Temperatur permukaan pipa tembaga ( $T_{sc}$ ), Temperatur permukaan pelat absorber ( $T_{sp}$ ), Temperatur air masuk kolektor ( $T_i$ ), Temperatur air keluar kolektor ( $T_o$ ), Temperatur triplek ( $T_T$ ).*

*Dari hasil penelitian didapatkan temperatur air keluar kolektor tertinggi terjadi pada sudut kemiringan kolektor 30 derajat yaitu sebesar 42,8 °C dengan intensitas matahari ( $I_T$ ) rata-rata 764,71 W/m<sup>2</sup> untuk 1 kaca penutup, sedangkan untuk 2 kaca penutup temperatur sebesar 44,8 °C dengan intensitas matahari ( $I_T$ ) rata-rata 790,85 W/m<sup>2</sup>. Dari semua sudut kemiringan, efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup 51,98%, dan untuk efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 56,21%. Sehingga efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 4,23% lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup.*

***Kata Kunci: Kolektor Surya Pelat Datar, Sudut Kemiringan Kolektor, Satu Kaca Penutup, Dua Kaca Penutup***

**EFFECT OF THE TILT ANGLE OF THE COLLECTOR  
TO THE THERMAL EFFICIENCY  
OF THE FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR  
WITH EXTERNAL ANNULAR FIN ADDITION  
ON PIPELINE**

**Student Name** : Unggul Dwi Setyadi  
**NRP** : 2112105023  
**Departement** : Mechanical Engineering ITS  
**Advisor** : Dr. Bambang Arip D., S.T., M.Eng.

***Abstract***

*Recently a lot of discoveries about the use of alternative energy technologies that are environmentally friendly as energy saving effort. One is utilizing solar energy. Solar energy as an alternative energy that is felt in suitable with current conditions as well as cheap and can be renewable. The tools used to absorb solar energy water heater one of which is a flat plate solar collector. To improve the efficiency of the collector by expanding the surface heat absorption is using fins annular shaped.*

*Methodology of the research we do is use one and two glass cover on the collector by means of varying the collector tilt angle of 10°, 20°, and 30° at fixed water discharge of 1000 liters / hour. The dimensions of the collector itself is 500 mm x 1500 mm. The data collection time interval interval of 1 hour once for 6 hours per day from 09.00 am until 15.00 pm. Data were collected for 12 days in June 2014. The measured parameters are light intensity (IT), wind speed (Vw), the outside air temperature (T∞1), temperature between the glass cover (T∞2), temperature in the collector (T∞3), the glass surface temperature (TC1), two glass surface temperature (TC2), copper pipe surface temperature (Tsc), absorber plate surface temperature (Tsp), water enters the collector temperature (Ti), water temperature out of the collector (TO), plywood temperature (TT).*

*The result obtained from this experiment is collector outlet water temperature. The highest outlet water temperature is happened in 30° collector tilt angle equal to 42,8°C with mean light intensity ( $I_T$ ) of 764,71 W/m<sup>2</sup> for one glass cover on the collector, whereas for two glass cover the outlet water temperature is 44,8 °C with mean light intensity ( $I_T$ ) of 790,85 W/m. From all collector tilt angles, mean efficiency of solar collector with one glass cover is 51,98% and mean efficiency for two glass cover is 56,21%. Therefore, mean efficiency with two glass cover is 4,23% higher than mean efficiency with one glass cover.*

***Keywords: Flat Plate Solar Collector, Collector Tilt Angle, One Glass Cover, Two Glass Cover***

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena atas rahmat dan hidayah-Nya, tugas akhir yang berjudul “ **PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN KOLEKTOR TERHADAP EFISIENSI TERMAL PADA KOLEKTOR SURYA PELAT DATAR DENGAN PENAMBAHAN EKSTERNAL ANNULAR FIN PADA PIPA**“ ini dapat disusun dan diselesaikan dengan baik dan lancar.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi S1 Teknik Mesin Produksi ITS Surabaya, sesuai dengan kurikulum yang telah ditetapkan. Selain itu Tugas Akhir ini juga merupakan suatu bukti yang diberikan almamater dan masyarakat.

Banyak dorongan dan bantuan yang penulis dapatkan selama penyusunan Tugas Akhir ini sampai terselesaikannya laporan. Untuk itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT dan junjungan besar Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan ketenangan dalam jiwaku.
2. Dr. Bambang Arip D, S.T., M.Eng. sebagai Dosen Pembimbing yang telah dengan sangat sabar, tidak bosan-bosannya membantu dan memberikan ide serta ilmu hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Ayah dan Ibu serta keluarga besarku tercinta yang benar - benar memberikan dorongan dan semangat dengan cinta dan kasih sayangnya yang tiada batas dan tak terbalaskan, doa dan restunya.
4. Dosen tim penguji yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyempurnaan dan pengembangan Tugas Akhir ini.



5. Seluruh dosen dan staf pengajar Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan ilmunya dan membantu semua selama menimba ilmu di bangku kuliah.
6. Siti Maria Ulfa, Perempuan spesial yang selalu memberi dukungan lahir dan batin.
7. Teman – teman seperjuangan Lintas Jalur Teknik Mesin ITS angkatan 2012.
8. Teman – teman game online Clash Of Clans ”Surabaya Camp” yang telah memberi hiburan disaat pikiran dan tenaga mulai lelah.

Semoga segala keikhlasan dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang terbaik dari Tuhan Yang Maha Esa, Amin.

Karena keterbatasan waktu dan kemampuan penulis, sebagai manusia biasa kami menyadari dalam penulisan ini masih terdapat beberapa kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, kami mengharap kritik dan saran membangun sebagai masukan untuk penulis dan kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang memerlukan, mahasiswa Mesin pada khususnya.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| Halaman Pengesahan.....  | iii  |
| Abstrak .....  | v    |
| Abstract .....   | vi   |
| Kata Pengantar .....   | ix   |
| DAFTAR ISI.....  | xi   |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xvii |
| DAFTAR TABEL .....   | xv   |
| BAB I PENDAHULUAN .....  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1    |
| 1.2 Perumusan Masalah.....   | 2    |
| 1.3 Batasan Masalah.....   | 3    |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....   | 3    |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....  | 4    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....                            | 5    |
| 2.1 Kajian Pustaka.....  | 5    |
| 2.2 Dasar Teori .....  | 9    |
| 2.2.1 Perpindahan panas.....   | 9    |
| 2.2.1.1 Perpindahan panas konduksi .....                                 | 10   |
| 2.2.1.2 Perpindahan panas konveksi.....                                  | 14   |
| 2.2.1.3 Perpindahan panas radiasi .....                                  | 17   |
| 2.2.1.4 Perpindahan panas dengan permukaan yang<br>diperluas (Fin) ..... | 18   |
| 2.2.2 Kolektor Surya Pelat Datar.....                                    | 22   |
| 2.2.2.1 Bagian-bagian kolektor surya pelat datar .....                   | 22   |
| 2.2.2.2 Radiasi yang diserap kolektor .....                              | 23   |

|   |    |
|---|----|
| 2.3 Analisa Perpindahan Panas Pada Kolektor.....                        | 24 |
| 2.3.1 Skema Tahanan Thermal.....  | 25 |
| 2.3.1.1 Skema Tahanan Thermal Satu Kaca Penutup                         | 25 |
| 2.3.1.2 Skema Tahanan Thermal Dua Kaca Penutup                          | 26 |
| 2.3.2 Koefisien perpindahan panas antara penutup dengan udara luar..... | 26 |
| 2.3.4 Koefisien perpindahan panas antara fluida dengan pipa.....        | 27 |
| 2.3.5 Koefisien perpindahan panas pada pelat absorber                   | 28 |
| 2.3.6 Koefisien perpindahan panas pada pipa dan fin ..                  | 29 |
| 2.3.7 Analisa Perpindahan Panas Konduksi Bagian Bawah ( $U_B$ ).....    | 29 |
| 2.3.8 Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup                     | 30 |
| 2.3.9 Koefisien Rugi Panas Menyeluruh.....                              | 31 |
| 2.3.10 Faktor Pelepasan Panas Pada Kolektor Surya ( $F_R$ ).....        | 33 |
| 2.3.11 Energi Pada Kolektor Surya .....                                 | 34 |
| 2.3.12 Efisiensi Kolektor Surya.....                                    | 35 |
| BAB III METODE PENELITIAN.....  | 37 |
| 3.1 Metode Penelitian.....  | 37 |
| 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....                                    | 37 |
| 3.3 Peralatan Penelitian .....  | 37 |
| 3.4 Parameter-Parameter yang Digunakan Dalam Penelitian                 | 40 |
| 3.5 Desain Kolektor.....  | 43 |
| 3.6 Prosedur Pengambilan Data.....                                      | 44 |
| 3.7 Gambar Instalasi Penelitian.....                                    | 47 |
| 3.8 Diagram Alir Tugas Akhir.....                                       | 47 |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.8.1 Flowchart percobaan satu kaca penutup dan dua kaca penutup ..... | 47        |
| 3.9 Diagram Alir Perhitungan .....                                     | 48        |
| 3.9.1. Diagram Alir Perhitungan dengan 1 kaca penutup.                 | 48        |
| 3.9.2. Diagram Alir Perhitungan dengan 2 kaca penutup.                 | 50        |
| <b>BAB IV ANALISA PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN</b>                       | <b>53</b> |
| 4.1. Contoh Perhitungan Satu Kaca Penutup.....                         | 53        |
| 4.1.1 Analisa Perhitungan pada Kolektor dengan Satu Kaca Penutup.....  | 53        |
| 4.2. Contoh Perhitungan Dua Kaca Penutup .....                         | 68        |
| 4.2.1 Analisa Perhitungan pada Kolektor dengan Dua Kaca Penutup.....   | 68        |
| 4.3. Pembahasan Grafik.....  | 81        |
| 4.3.1 Grafik Temperatur Air Keluar.....                                | 81        |
| 4.3.2 Grafik Temperatur Air Keluar Pada 1 Dan 2 Kaca Penutup.....      | 83        |
| 4.3.3 Grafik Energi fungsi intensitas .....                            | 85        |
| 4.3.4 Grafik Efisiensi Solar Kolektor .....                            | 88        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....                                | <b>91</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....  | 91        |
| 5.2 Saran.....   | 92        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....  | <b>93</b> |
| <b>LAMPIRAN</b> .....  | <b>95</b> |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Tabel 2.1</b> | Distribusi temperatur[8] .....                                    | 20 |
| <b>Tabel 3.1</b> | Tabel Parameter-parameter Yang Digunakan<br>Dalam Penelitian..... | 41 |

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Gambar 2. 1</b>  | Percobaan pemanas udara tanpa menggunakan sekat atau sirip (a) dan menggunakan sekat atau sirip (b) [1] .....  | 5  |
| <b>Gambar 2. 2</b>  | Grafik hasil percobaan dengan variasi jarak pipa dan tebal kolektor [2] .....  | 6  |
| <b>Gambar 2. 3</b>  | Grafik percobaan dengan dua luasan kolektor yang berbeda [3] .....   | 6  |
| <b>Gambar 2. 4</b>  | Grafik percobaan dengan variasi tebal penutup dan jarak kolektor dengan penutup [4] .....  | 7  |
| <b>Gambar 2. 5</b>  | Grafik percobaan dengan variasi laju aliran air [5] .....  | 8  |
| <b>Gambar 2. 6</b>  | Skematik alat uji Made [6] .....   | 8  |
| <b>Gambar 2. 7</b>  | Hasil percobaan dengan variasi posisi pipa [6] ..  | 9  |
| <b>Gambar 2. 8</b>  | Grafik perbandingan intensitas radiasi matahari dan efisiensi thermal terhadap waktu pengujian dengan sudut kemiringan (a) $45^0$ (b) $30^0$ [7] ..... | 9  |
| <b>Gambar 2. 9</b>  | Modus perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi[8] .....  | 10 |
| <b>Gambar 2. 10</b> | Perpindahan panas konduksi[8] .....  | 11 |
| <b>Gambar 2. 11</b> | Perpindahan panas pada dinding datar. (a) Distribusi temperature (b) sirkuit thermal[8] ..   | 12 |
| <b>Gambar 2. 12</b> | Distribusi temperature pada silinder berlapis[8]   | 14 |
| <b>Gambar 2. 13</b> | Lapisan batas pada perpindahan konveksi[8]...  | 15 |
| <b>Gambar 2. 14</b> | Perpindahan panas konveksi. (a) konveksi paksa (b)konveksi bebas[8] .....  | 15 |
| <b>Gambar 2. 15</b> | Konveksi aliran pada pelat datar[8] .....  | 16 |
| <b>Gambar 2. 16</b> | Pertukaran radiasi[8] .....  | 17 |
| <b>Gambar 2. 17</b> | Penambahan sirip untuk memperbesar laju perpindahan panas[8] .....   | 19 |



|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Gambar 2. 18</b> | Macam-macam bentuk fin, (a) fin lurus dengan penampang melintang seragam, (b) fin lurus dengan penampang tidak seragam, (c) fin bentuk ring, (d) fin paku[8] .....    | 19 |
| <b>Gambar 2. 19</b> | (a) Fin segiempat (b) pin fin[8] .....  | 19 |
| <b>Gambar 2. 20</b> | Contoh dari susunan fin anular[8] .....   | 21 |
| <b>Gambar 2. 21</b> | Penyerapan radiasi matahari oleh pelat penyerap[9].....   | 23 |
| <b>Gambar 2. 26</b> | Analisa perpindahan panas fluida dengan pipa  | 27 |
| <b>Gambar 2. 27</b> | Penampang kolektor bagian bawah.....  | 30 |
| <b>Gambar 3. 1</b>  | Kolektor surya.....   | 38 |
| <b>Gambar 3. 2</b>  | Pipa tembaga .....  | 38 |
| <b>Gambar 3. 3</b>  | Pompa air .....   | 38 |
| <b>Gambar 3. 4</b>  | Tandon air .....  | 39 |
| <b>Gambar 3. 5</b>  | Thermocouple .....  | 39 |
| <b>Gambar 3. 6</b>  | Thermometer air raksa .....   | 39 |
| <b>Gambar 3. 7</b>  | Thermometer infra merah .....   | 40 |
| <b>Gambar 3. 8</b>  | Solarimeter .....   | 40 |
| <b>Gambar 3. 9</b>  | Penempatan alat ukur .....  | 41 |
| <b>Gambar 3. 10</b> | Dimensi fin.....  | 43 |
| <b>Gambar 3. 11</b> | Dimensi Kolektor.....   | 44 |
| <b>Gambar 3. 12</b> | Gambar instalasi penelitian.....  | 46 |
| <b>Gambar 4. 1</b>  | Grafik Temperatur air keluar pada sudut kemiringan 10 derajat (a), 20 derajat (b), 30 derajat (c) .....   | 82 |
| <b>Gambar 4. 2</b>  | Grafik Temperatur air keluar pada 1 dan 2 kaca penutup .....  | 83 |
| <b>Gambar 4. 3</b>  | Grafik Energi untuk 1 kaca penutup (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat .....   | 85 |
| <b>Gambar 4. 4</b>  | Grafik Energi untuk 1 kaca penutup (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat Grafik Efisiensi Aktual dengan satu kaca penutup (a) dan dua kaca penutup (b) ..... | 86 |

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Gambar 4.5</b> | Grafik Energi Losses variasi kaca penutup, (a) 1 kaca penutup, (b) 2 kaca penutup .....                    | 87 |
| <b>Gambar 4.6</b> | Grafik Efisiensi Solar Kolektor pada sudut kemiringan (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat ..... | 89 |

*Hakaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Kemajuan jaman saat ini banyak sekali penemuan-penemuan teknologi tentang penggunaan energi alternatif yang ramah lingkungan sebagai upaya penghematan energi yang menggunakan fosil atau energi yang tidak bisa diperbaharui. Salah satunya adalah memanfaatkan energi surya. Energi surya sebagai energi alternatif yang dirasakan sesuai dengan kondisi saat ini karena disamping murah juga bersifat renewable dan tersedia sangat melimpah di daerah tropis khususnya negara Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa.

Energi surya yang sampai ke bumi, dapat dikumpulkan dan diubah menjadi energi panas yang berguna melalui suatu alat yang dinamakan kolektor surya. Dalam aplikasinya kolektor surya banyak digunakan sebagai alat pemanas air pada rumah-rumah.

Secara umum, kolektor surya dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu kolektor konsentrasi dan kolektor non konsentrasi. Kolektor non konsentrasi merupakan kolektor dimana luas bidang penyerapan sama dengan bidang penyinaran seperti misalnya kolektor plat datar. Kolektor konsentrasi biasanya digunakan untuk menghasilkan temperatur fluida kerja yang lebih tinggi dibandingkan dengan kolektor non konsentrasi. Akan tetapi kolektor konsentrasi mempunyai bentuk dan pembuatan yang lebih sulit.

Kolektor surya kebanyakan menggunakan pelat datar sebagai absorber dan fluida kerja melewati pipa. Untuk mendapatkan hasil pemanasan yang lebih maksimal pelat kolektor tersebut dicat dengan warna hitam yang berfungsi untuk menyerap radiasi surya yang dipancarkan oleh matahari. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerugian panas secara radiasi dan konversi ke atmosfer, maka digunakan kaca pelindung sehingga mengurangi terjadinya efek rumah kaca dan untuk lebih

memperkecil efek rumah kaca maka kaca pelindung divariasi antara satu kaca penutup dan dua kaca penutup sedangkan bagian bawah pelat kolektor surya dilapisi dengan *glass wool* yang dapat mengisolasi terjadinya kebocoran panas yang dihasilkan oleh pelat kolektor Surya. Beberapa penelitian sudah dilakukan dengan memodifikasi posisi pipa terhadap pelat datar. Akan tetapi kolektor surya ini mempunyai kekurangan yaitu kehilangan energi panas yang terjadi selama proses pemanasan air.

Untuk mengatasi permasalahan ini, maka salah satu caranya adalah meningkatkan output energi berguna (usefull energy) dari kolektor tenaga surya, yaitu memperluas permukaan penyerapan panas (pipa yang dialiri fluida kerja). Memperluas permukaan bidang penyerapan panas dapat dilakukan dengan menambah luas permukaan pipa menggunakan penambahan fin model seperti cincin (*annular fin*) yang melingkari pipa sepanjang panjang pipa dengan jarak tertentu antar fin. Dimensi fin berdiameter 30 mm dengan tebal 0,55 mm dan jarak antar fin adalah 40 mm. Penggunaan fin disini dimaksudkan untuk menyerap panas lebih banyak karena luasannya ditambah sehingga nantinya akan berpengaruh terhadap panas yang diterima air yang mengalir didalam pipa, semakin banyak panas yang diterima maka akan semakin cepat proses pemanasannya. Dan cara yang kedua adalah dengan cara memvariasi sudut kemiringan kolektor, sudut kemiringan kolektor divariasi sebesar 10°, 20°, 30° ini dimaksudkan untuk mencari intensitas yang paling baik antara ketiga variasi sudut tersebut. Dari pemikiran awal ini, nampaknya penggunaan fin pada pipa dan variasi sudut kemiringan akan meningkatkan efisiensi kolektor surya.

## 1.2 Perumusan Masalah

Proses pemanasan air menggunakan radiasi sinar matahari. Untuk mendapatkan tingkat efisiensi yang tinggi selama proses pemanasan, permasalahannya adalah:

1. Bagaimana pengaruh pipa dengan penambahan fin terhadap efisiensi kolektor.

2. Bagaimana pengaruh variasi sudut kemiringan kolektor terhadap efisiensi kolektor.

### **1.3 Batasan Masalah**

Asumsi - asumsi yang digunakan untuk prosedur penyelesaian penelitian ini adalah:

1. Energi dari radiasi sinar matahari.
2. Penutup kaca tidak menyerap energi.
3. Efek kotoran pada permukaan absorber diabaikan.
4. Fluida kerja selama proses tidak mengalami perubahan fase.
5. Distribusi air yang mengalir di dalam saluran pipa seragam.
6. Pengambilan data dilakukan selama rentang waktu 6 jam, yaitu jam 09.00-15.00 WIB dengan interval waktu 1 jam.
7. Data dapat diolah dengan syarat Intensitas matahari minimal  $450 \text{ W/m}^2$ .
8. Debit air yang mengalir adalah 1000 Liter/jam.
9. Selama pengambilan data diasumsikan cuaca cerah (blue sky).
10. Panas yang diterima bagian bawah pipa dan atas pipa adalah sama.
11. Kerugian panas pada pipa menuju kolektor surya diabaikan.
12. Kolektor dianggap tertutup sempurna.
13. Analisa perpindahan panas hanya satu sumbu.

### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang kami lakukan ini yaitu:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan fin pada pipa terhadap efisiensi kolektor.
2. Untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan kolektor terhadap efisiensi kolektor.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memanfaatkan energi surya sebagai energi alternatif pengganti energi fosil untuk memanaskan air.
2. Mendapatkan kolektor surya pemanas air dengan efisiensi yang lebih baik.

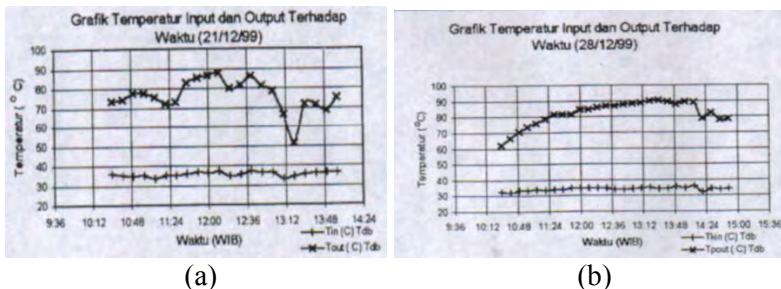
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Sejumlah peneliti telah mempelajari kolektor pemanas air yang menggunakan tipe kolektor pelat datar dengan konfigurasi yang berbeda, dan termasuk prosedur penyelesaiannya. Semua penelitian tujuannya adalah meningkatkan efisiensi dari kolektor. Beberapa penelitian terdahulu terkait dengan penggunaan kolektor surya sebagai pemanas air tenaga matahari adalah sebagai berikut :

Yazmendra dkk [1], melakukan penelitian tentang optimasi udara panas keluaran kolektor energi surya. Penelitian dilakukan dengan cara memberi sekat atau sirip pada aliran udara didalam kolektor surya plat datar. Hasilnya adalah dapat dilihat pada gambar 2.1 sekat dan penambahan luas penampang kontak (sirip) mempengaruhi hasil keluaran temperatur maksimum udara. Aliran silang bersekat konstan menghasilkan temperatur keluaran 90,2 °C pada cuaca cerah, lebih tinggi dari aliran langsung tanpa sekat.



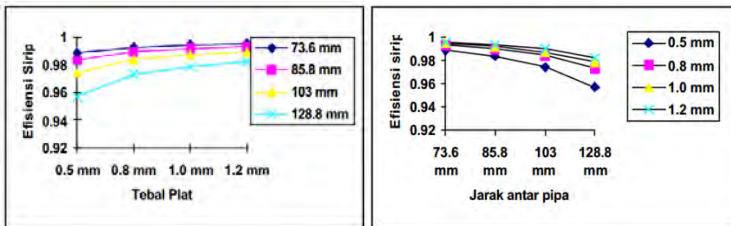
(a) (b)

Gambar 2. 1 Percobaan pemanas udara tanpa menggunakan sekat atau sirip (a) dan menggunakan sekat atau sirip (b) [1]

Philip k dkk [2], meneliti tentang pengaruh tebal plat dan jarak antar pipa terhadap performansi kolektor surya pelat

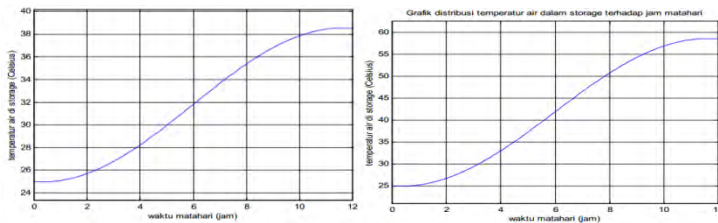


datar. Penelitian ini dilakukan dengan cara memvariasi jarak pipa yang dialiri fluida dan memvariasi tebal pelat kolektor. Hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.2 yaitu semakin tebal pelat penyerap dan semakin rapat jarak pipa semakin besar efisiensi sirip dari kolektor. Yaitu dengan jarak antar pipa 73,6 mm dan ketebalan pelat kolektor 1,2 mm. Efisiensi sirip kolektor sebesar 99,53%.



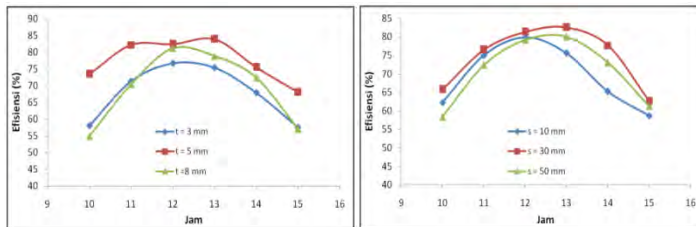
Gambar 2. 2 Grafik hasil percobaan dengan variasi jarak pipa dan tebal kolektor [2]

Matilda dkk [3], penelitian tentang desain kolektor plat datar untuk pemanas air. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat kolektor yang mempunyai luasan berbeda, yang luas kolektor yang pertama adalah  $0,3 \text{ m}^2$  dan yang kedua adalah  $0,75 \text{ m}^2$ . Dari hasil penelitian dapat dilihat pada gambar 2.3 menyatakan bahwa semakin besar luasan kolektor maka energi surya yang ditangkap kolektor semakin besar, sehingga dapat menaikkan temperatur air dalam storage semakin tinggi. Yaitu untuk  $0,75 \text{ m}^2$  temperatur air dalam storage sebesar  $58^\circ\text{C}$ , dan untuk  $0,3 \text{ m}^2$  temperatur air masuk sebesar  $38,3^\circ\text{C}$ .



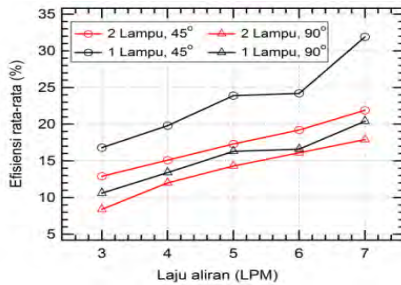
Gambar 2. 3 Grafik percobaan dengan dua luasan kolektor yang berbeda [3]

M. Burhan [4], meneliti tentang pemanfaatan kolektor surya pemanas air dengan menggunakan seng bekas sebagai absorber untuk mereduksi pemakaian bahan bakar minyak rumah tangga. Penelitian ini dilakukan dengan cara memvariasi tebal kaca penutup dan jarak plat absorber dengan penutup. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada gambar 2.4 menyatakan bahwa tebal kaca yang paling baik adalah pada tebal 5 mm. Dan jarak antara kaca penutup dengan plat absorber adalah 30 mm.



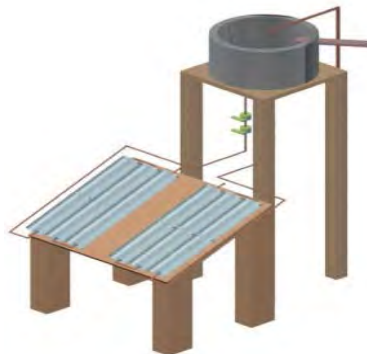
Gambar 2. 4 Grafik percobaan dengan variasi tebal penutup dan jarak kolektor dengan penutup [4]

Sitorus dan kawan - kawan [5], penelitian ini tentang pengaruh sudut penyinaran dan laju aliran terhadap efisiensi thermal pada solar kolektor tipe plat datar. Penelitian ini dilakukan menggunakan dua buah lampu sebagai sumber energi yang diterima kolektor. Dua buah lampu diatur kemiringan penyinaran yang divariasi sebesar 45°, 60°, 75°, 90°. Dan penelitian dilakukan dengan cara memvariasikan laju aliran air. Dari hasil penelitian dapat dilihat pada gambar 2.5 menyatakan bahwa tidak dapat memberikan kesimpulan yang baik pengaruh sudut penyinaran terhadap efisiensi thermal. Hal yang menjadi penyebab penyimpangan ini diperkirakan adalah posisi lampu yang tidak tepat. Dan untuk efek dari laju aliran air pendingin adalah semakin besar laju aliran air pendingin maka semakin besar efisiensi solar kolektor.

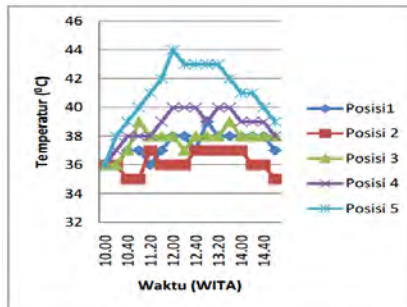


Gambar 2. 5 Grafik percobaan dengan variasi laju aliran air [5]

Made [6], melakukan penelitian menggunakan kolektor surya tubular terkonsentrasi dengan pipa penyerap dibentuk anulus dengan variasi posisi pipa penyerap (gambar 2.6). Pipa divariasikan menjadi 5 posisi. Yaitu posisi  $L_1 = 5,32$  cm,  $L_2 = 2,66$  cm, posisi  $L_3 = 0$  cm,  $L_4 = -2,66$  cm,  $L_5 = -5,32$  cm. Hasil dari penelitian dapat dilihat pada gambar 2.7 menunjukkan bahwa pada posisi  $L_5 = -5,32$  cm memiliki temperatur air keluar, energi berguna aktual, dan efisiensi aktual tertinggi karena pada posisi 5 merupakan titik fokus pada reflektor sehingga energi dari matahari terpusat mendapatkan panas yang paling tinggi.

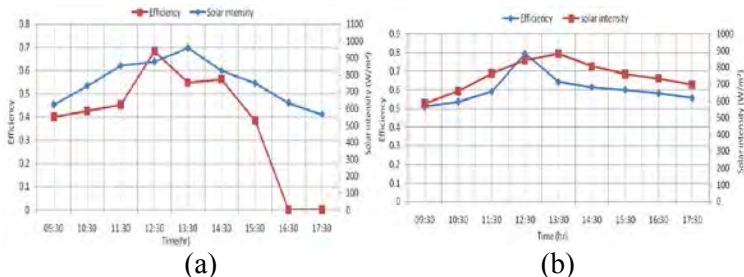


Gambar 2. 6 Skematik alat uji Made [6]



Gambar 2. 7 Hasil percobaan dengan variasi posisi pipa [6]

Debra dkk [7], melakukan penelitian mengenai pengaruh sudut kemiringan solar kolektor surya terhadap performansinya. Pengujian dilakukan dengan sudut kemiringan kolektor  $30^0$  dan  $45^0$ . Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 2.8 didapatkan bahwa sudut kemiringan  $30^0$  memiliki efisiensi rata-rata sebesar 68% sedangkan pada sudut kemiringan  $45^0$  memiliki efisiensi rata-rata sebesar 39%.



Gambar 2. 8 Grafik perbandingan intensitas radiasi matahari dan efisiensi thermal terhadap waktu pengujian dengan sudut kemiringan (a)  $45^0$  (b)  $30^0$  [7]

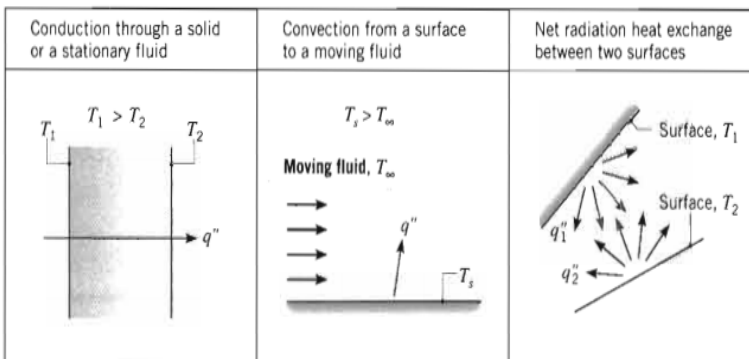
## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Perpindahan panas

Perpindahan panas adalah energi panas yang berpindah/mengalir yang disebabkan karena adanya perbedaan temperatur di dalam media (1 media) atau diantara media (2

media). Energi panas dapat berpindah dari media yang bertemperatur tinggi menuju ke media yang bertemperatur rendah. Modus proses perpindahan energi panas ada 3 macam (gambar 2.9), yaitu:

1. Konduksi
2. Konveksi
3. Radiasi



Gambar 2. 9 Modus perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi[8]

### 2.2.1.1 Perpindahan panas konduksi

Konduksi adalah proses dimana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair, gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besarmenurut teori kinetik. Suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen tersebut. Perpindahan energi tersebut dengan pembauran (difusi) elektron-elektron yang bergerak secara cepat dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah (misalnya logam). Konduksi merupakan satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat yang tidak tembus cahaya, dapat dilihat pada gambar 2.10.

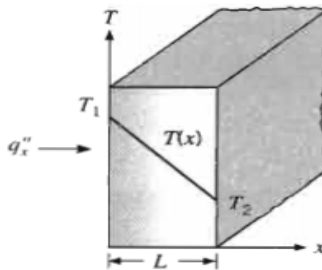
Hubungan dasar untuk perpindahan panas dengan cara konduksi diusulkan oleh ilmuwan perancis, J.B.J Fourier, tahun 1882. Hubungan ini menyatakan bahwa laju aliran panas dengan cara konduksi dalam satu bahan sama dengan hasil kali dari dua buah besaran berikut:

1.  $k$ , konduktivitas thermal bahan (W/m.k)
2.  $dt/Dx$ , gradien suhu terhadap penampang tersebut, yaitu perubahan suhu  $T$  terhadap jarak dalam arah aliran panas  $x$  ( $\frac{^{\circ}K}{m}$ ).

Sehingga persamaanya menjadi:

$$q''_x = -k \frac{dT}{dx} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana  $q''_x$  adalah fluks panas ( $W/m^2$ )



Gambar 2. 10 Perpindahan panas konduksi[8]

Pada kondisi tunak (steady state) seperti pada gambar 2.2 distribusi temperaturnya adalah linear, sehingga gradien temperatur dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

sehingga fluk perpindahan panas menjadi:

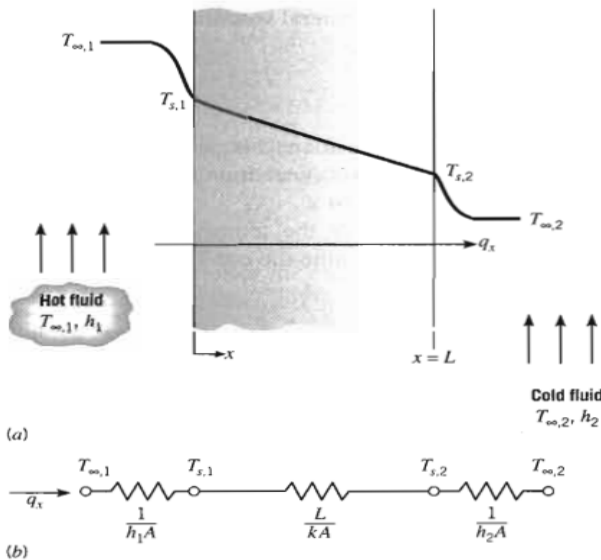
$$q''_x = -k \frac{T_2 - T_1}{L} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Untuk laju perpindahan energi panas konduksi  $q_x$  besarnya adalah perkalian fluk panas dengan luas permukaan dinding, yaitu:

$$q_x = A \cdot q''_x \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Konduksi pada pelat datar

Untuk perpindahan energi panas konduksi satu dimensi di dalam bidang datar distribusi temperature hanya kearah satu sumbu saja misalnya sumbu x, sehingga perpindahan panas hanya terjadi kearah x saja.



Gambar 2. 11 Perpindahan panas pada dinding datar. (a) Distribusi temperature (b) sirkuit thermal[8]

Pada gambar 2.11 diatas terlihat panas berpindah secara konveksi dari udara di bagian dalam ke dinding dalam, kemudian dilanjutkan dengan konduksi dari dinding dalam ke dinding luar, lalu diteruskan lagi dengan konveksi dari dinding luar ke udara luar.

Dari kasus diatas dapat dianalogikan antara difusi energi panas dengan aliran arus listrik. Tahanan listrik diasosiasikan dengan konduktor listrik sedang tahanan thermal diasosiasikan dengan konduktor energi panas. Sehingga laju perpindahan panas dapat ditulis:

$$q_{kond} = \frac{\Delta T}{R_{kond}} = \frac{(T_2 - T_1)}{R_{kond}} \dots \dots \dots (2.5)$$

$R_{\text{kond}}$  disebut hambatan perpindahan panas konduksi. Analisis yang sama diterapkan pada kasus konveksi, maka didapat laju perpindahan panas konveksi:

$$q_{\text{konv}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{konv}}} = \frac{(T_s - T_{\infty})}{R_{\text{konv}}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dalam suatu rangkaian hambatan listrik arus yang mengalir di tiap-tiap hambatan sama, dan analoginya laju perpindahan panas pada tiap-tiap hambatan perpindahan panas juga sama, yaitu:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_1)}{\frac{1}{h_{\infty 1}}} = \frac{(T_2 - T_1)}{\frac{L}{kA}} = \frac{(T_2 - T_{\infty 2})}{\frac{1}{h_{\infty 2}}} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dan juga dapat ditulis dalam bentuk beda temperature total:

$$q_x = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{R_{\text{tot}}} = \frac{\Delta T}{R_{\text{tot}}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{h_{\infty 1}A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_{\infty 2}A} \dots\dots\dots (2.9)$$

$R_{\text{tot}}$  disebut hambatan perpindahan panas keseluruhan (overall heat transfer resistant). Persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk lain yaitu:

$$q_x = UA\Delta T \dots\dots\dots (2.10)$$

$$UA = \frac{1}{R_{\text{tot}}} \dots\dots\dots (2.11)$$

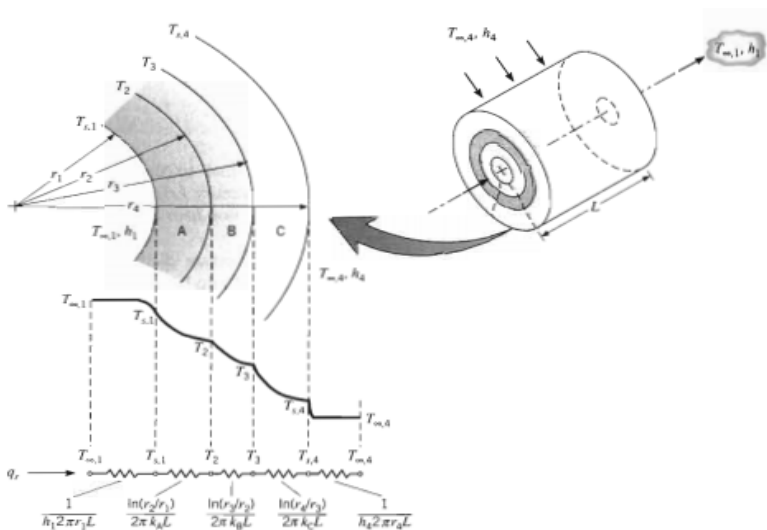
Sehingga koefisien perpindahan panas keseluruhan adalah:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\infty 1}} + \frac{L}{k} + \frac{1}{h_{\infty 2}}} \dots\dots\dots (2.12)$$

### ➤ Konduksi pada dinding silinder

Konduksi satu dimensi pada silinder sesuai gambar 2.12, distribusi temperature hanya kearah satu sumbu saja misalnya sumbu radial, sehingga perpindahan panas hanya terjadi kearah sumbu radial saja.





Gambar 2. 12 Distribusi temperature pada silinder berlapis[8]  
 Perpindahan panas pada silinder berlapis dapat dicari dengan persamaan berikut.

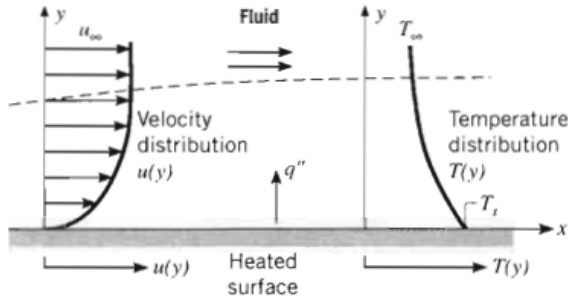
$$q_x = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 4}}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_A L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_B L} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi k_C L} + \frac{1}{2\pi r_4 L h_4}} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

### 2.2.1.2 Perpindahan panas konveksi

Perpindahan energi panas secara konveksi terjadi antara permukaan dengan fluida yang bergerak bila terdapat perbedaan temperatur diantara keduanya (gambar 2.13). Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua mekanisme yaitu perpindahan energi yang disebabkan gerakan random molekul (difusi) dan gerakan makroskopis fluida di dalam lapisan batas (boundary layer).

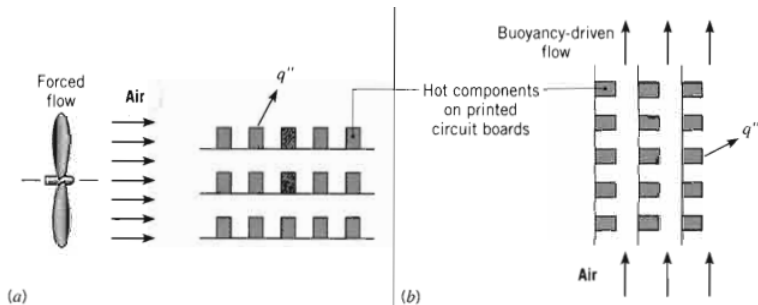
Aliran konveksi dipengaruhi beberapa faktor:

1. Aliran horizontal atau vertikal.
2. Aliran laminar atau turbulen.
3. Permukaan rata atau melengkung.
4. Jenis fluida, zat cair atau gas
5. Sifat-sifat fluida seperti viskositas, kalor jenis, dsb.



Gambar 2. 13 Lapisan batas pada perpindahan konveksi[8]

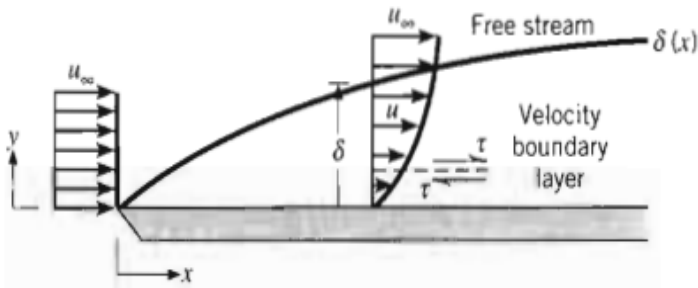
Berdasarkan kealamian aliran fluida perpindahan energi panas konveksi dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu konveksi paksa (forced convection) dan konveksi bebas (free convection). Konveksi paksa dipengaruhi faktor dari luar seperti blower, pompa, dll. Sedangkan konveksi bebas aliran fluida yang terjadi semata – mata karena adanya perbedaan massa jenis fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur atau pengaruh gaya angkat (bouyancy forces). Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Perpindahan panas konveksi. (a) konveksi paksa (b)konveksi bebas[8]

Konveksi bebas (free convection) adalah aliran fluida yang terjadi semata – mata karena adanya perbedaan massa jenis

fluida yang disebabkan oleh perbedaan temperatur. Apabila pelat itu dipanaskan, terbentuklah suatu lapisan batas konveksi bebas. Pada dinding kecepatan adalah nol, karena terdapat kondisi tanpa gelincir (no slip), kecepatan itu bertambah terus sampai mencapai nilai maksimum, dan kemudian menurun lagi hingga nol pada tepi lapisan batas, karena kondisi arus bebas (free stream) tidak ada pada sistem konveksi bebas, lihat gambar 2.15. Perkembangan awal lapisan batas adalah laminar, tetapi pada sifat – sifat fluida dan beda suhu antara dinding dan lingkungan, terbentuklah pusaran – pusaran dari transisi ke lapisan turbulen.



Gambar 2. 15 Konveksi aliran pada pelat datar[8]

Laju perpindahan panas konveksi dapat dicari dengan hukum pendinginan Newton, yaitu:

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

$q$  = Laju Perpindahan panas konveksi (W)

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi  $\left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}\right)$

$T_s$  = Temperatur permukaan ( $^\circ C$ )

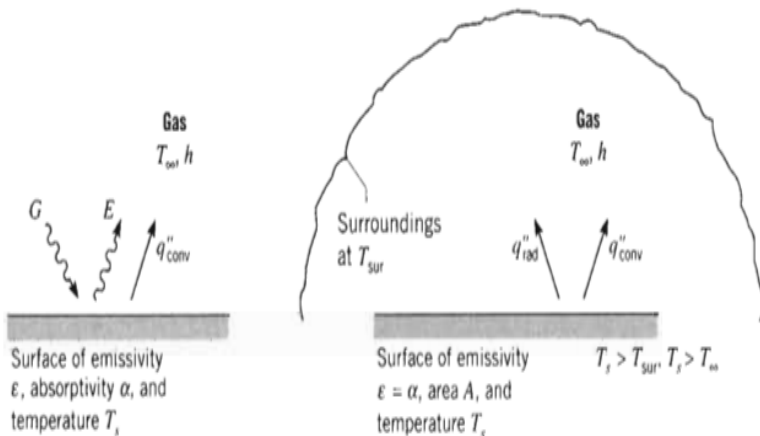
$T_\infty$  = Temperatur fluida ( $^\circ C$ )

### 2.2.1.3 Perpindahan panas radiasi

Radiasi adalah proses dimana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu lebih rendah, bila benda-benda itu terpisah didalam ruang, bahkan bila terdapat ruang hampa diantara benda-benda tersebut.

Semua benda memancarkan panas radiasi secara terus menerus. Intensitas pancaran tergantung pada suhu dan sifat permukaan. Energi radiasi bergerak dengan kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s) dan gejala-gejalanya menyerupai radiasi cahaya. Menurut teori elektromagnetik, radiasi cahaya dan radiasi thermal hanya berbeda dalam panjang gelombang masing-masing.

Medan energy radiasi ini dipancarkan sebagai gelombang elektromagnetik. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media seperti perpindahan panas konduksi dan konveksi (gambar 2.16). Perpindahan panas radiasi akan lebih efektif jika terjadi pada ruang vacuum.



Gambar 2. 16 Pertukaran radiasi[8]

Radiasi yang diemisikan oleh permukaan diekspresikan oleh Hukum Stefan Boltzman, dengan persamaan:

$$E_b = \sigma T_s^4 \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

$E_b$  = daya emisi permukaan benda hitam

$\sigma$  = konstanta Stefan Boltzman ( $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

$T_s$  = temperatur absolut dari permukaan

Fluks energi panas yang diemisikan pada permukaan nyata adalah lebih kecil dibanding dengan benda hitam yaitu:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

$\varepsilon$  = sifat radiatif dari permukaan yang disebut dengan emisivitas ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ).

Laju perpindahan panas radiasi netto dapat dituliskan sebagai berikut:

$$q = \varepsilon A \sigma T_s^4 \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

dimana A adalah Luas permukaan pemancar (yang memancarkan) radiasi.

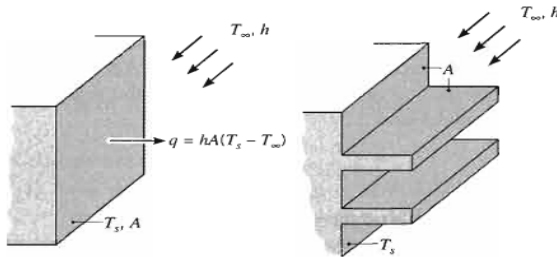
Persamaan diatas dapat ditulis menyerupai persamaan perpindahan panas konveksi yaitu:

$$q = h_r A (T_s - T_{sur}) \quad \dots\dots\dots(2.18)$$

$$h_r = \varepsilon \sigma (T_s + T_{sur})(T_s^2 + T_{sur}^2) \quad \dots\dots\dots(2.19)$$

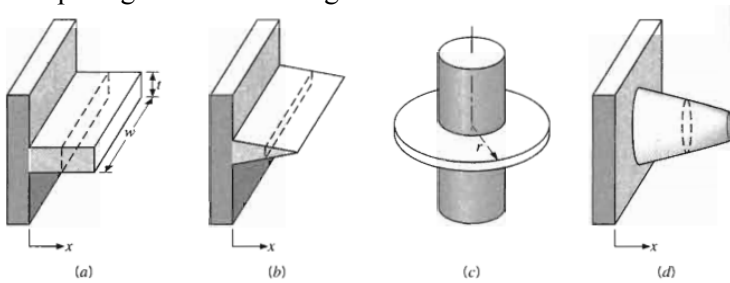
#### **2.2.1.4 Perpindahan panas dengan permukaan yang diperluas (Fin)**

Untuk meningkatkan efisiensi pelat kolektor salah satunya adalah dengan memperluas permukaan pipa tembaga (gambar 2.17), sehingga panas yang diserap pipa tembaga semakin besar dan waktu yang digunakan selama proses pemanasan semakin cepat. Prinsip dari fin ini adalah kombinasi antara konduksi dan konveksi. Konduksi terjadi pada pipa dengan fin, sedangkan konveksi terjadi pada ujung fin dengan sekelilingnya.

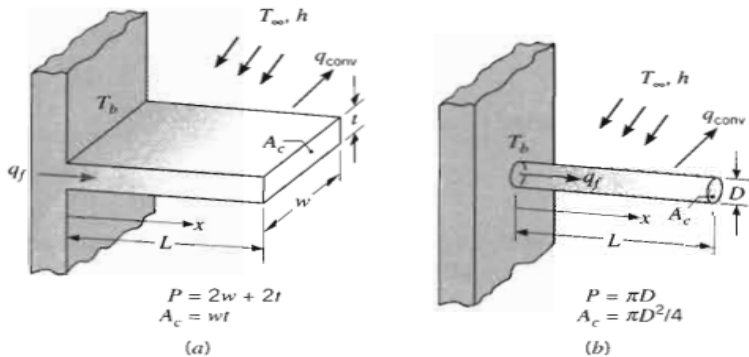


Gambar 2. 17 Penambahan sirip untuk memperbesar laju perpindahan panas[8]

Bentuk sirip atau fin bermacam-macam, diantaranya dapat dilihat pada gambar 2.18 dan gambar 2.19



Gambar 2. 18 Macam-macam bentuk fin, (a) fin lurus dengan penampang melintang seragam, (b) fin lurus dengan penampang tidak seragam, (c) fin bentuk ring, (d) fin paku[8]



Gambar 2. 19 (a) Fin segiempat (b) pin fin[8]

Kondisi ujung fin dengan penampang lintang seragam dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. 1 Distribusi temperatur[8]

| Case   | Tip Condition<br>( $x = L$ )                                    | Temperature<br>Distribution $\theta/\theta_b$                                     | Fin Heat<br>Transfer Rate $q_f$   |
|--|---|---|---|
| A  | Convection heat transfer:<br>$h\theta(L) = -kd\theta/dx _{x=L}$ | $\frac{\cosh m(L-x) + (h/mk) \sinh m(L-x)}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$<br>(3.70) | $M \frac{\sinh mL + (h/mk) \cosh mL}{\cosh mL + (h/mk) \sinh mL}$<br>(3.72) |
| B  | Adiabatic<br>$d\theta/dx _{x=L} = 0$                            | $\frac{\cosh m(L-x)}{\cosh mL}$<br>(3.75)   | $M \tanh mL$<br>(3.76)  |
| C  | Prescribed temperature:<br>$\theta(L) = \theta_L$               | $\frac{(\theta_L/\theta_b) \sinh mx + \sinh m(L-x)}{\sinh mL}$<br>(3.77)          | $M \frac{(\cosh mL - \theta_L/\theta_b)}{\sinh mL}$<br>(3.78)               |
| D  | Infinite fin ( $L \rightarrow \infty$ ):<br>$\theta(L) = 0$     | $e^{-mx}$<br>(3.79)   | $M$<br>(3.80)   |
| $\theta \equiv T - T_\infty$ $m^2 \equiv hP/kA_c$<br>$\theta_b \equiv \theta(0) = T_b - T_\infty$ $M \equiv \sqrt{hPkA_c}\theta_b$ |   |   |   |

Tinjauan perpindahan panas terhadap kondisi ujung fin

1. Panjang fin tertentu dengan perpindahan panas pada ujungnya (case A).
2. Ujung fin diisolasi atau ujung fin adiabatic (Case B).
3. Temperatur ujung fin ditentukan (Case C).
4. Panjang fin tak hingga,  $L = \infty$  (Case D).

Untuk menunjukkan efektifitas fin dalam memindahkan sejumlah kalor tertentu yang dirumuskan suatu parameter disebut efisiensi fin. Definisi efisiensi fin adalah perbandingan antara kalor yang sebenarnya dipindahkan dengan kalor yang dipindahkan bila seluruh muka fin benda pada temperatur dasar.

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b} \dots\dots\dots (2.20)$$

Untuk sirip anular:

$$q_{max} = 2\pi \left( \left( r_2 + \frac{t}{2} \right)^2 - r_1^2 \right) \theta_b \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana:

$q_f$  = Perpindahan panas pada sirip sebenarnya

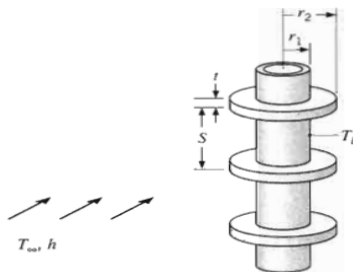
$q_{max}$  = Perpindahan panas jika seluruh sirip fin bertemperatur sama dengan akar sirip.

$h$  = Koefisien konveksi disekitar sirip

$A_f$  = Total luasan permukaan sirip

$\theta_b$  = Perbedaan temperature antara sirip dengan temperature udara ( $\theta_b = T_b - T_\infty$ )

Dalam penelitian ini kami mencoba memperluas permukaan penyerapan panas dengan cara penambahan sirip (fin) berbentuk cincin/ring pada pipa yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemanasan air. Dengan jarak tertentu antar fin (S) dan bentuknya seragam serta ukurannya sama. Bentuk dari fin itu sendiri dapat dilihat pada gambar 2.20 seperti dibawah.



Gambar 2. 20 Contoh dari susunan fin anular[8]

Disini untuk mendapatkan efisiensi total dari fin adalah:

$$\eta_0 = \frac{q_t}{q_{max}} = \frac{q_t}{hA_t\theta_b} \dots\dots\dots(2.22)$$

Karena jumlah fin tidak hanya satu sehingga persamaannya berbeda dengan fin tunggal

$$A_t = NA_f + A_b \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana,

N = Banyaknya fin

$A_f$  = Luas permukaan fin

$A_b$  = Luas penampang melintang pada pangkal fin



Untuk mencari nilai  $q_t$  keseluruhan dari fin dan penampang permukaan pada pangkal fin, maka persamaannya menjadi:

$$q_t = N\eta_f h A_f \theta_b + h A_b \theta_b \dots\dots\dots(2.24)$$

Koefisien konveksi antara fin dan penampang pada pangkal fin diasumsikan sama, sehingga persamaan diatas dapat ditulis:

$$q_t = h[N\eta_f A_f + (A_t - N A_f)]\theta_b = h A_t \left[1 - \frac{N A_f}{A_t}(1 - \eta_f)\right]\theta_b \dots\dots\dots(2.25)$$

Dari persamaan (2.25) disubstitusikan ke persamaan (2.22), dan didapatkan persamaan:

$$\eta_o = 1 - \frac{N A_f}{A_t}(1 - \eta_f) \dots\dots\dots(2.26)$$

## 2.2.2 Kolektor Surya Pelat Datar

Kolektor surya pelat datar berfungsi untuk menyerap energi radiasi matahari. Radiasi yang diterima permukaan penutup transparan kolektor, sebagian besar diteruskan dan kemudian diterima pelat kolektor yang bekerja sebagai pengumpul energi. Pelat kolektor menjadi sumber radiasi memancarkan energi radiasi kembali ke permukaan dalam penutup transparan kolektor, tetapi radiasinya tidak mampu menembus penutup dengan adanya radiasi yang terperangkap dalam rumah kaca. Akibat kasus ini menyebabkan temperatur di dalam ruang menjadi panas dibandingkan dengan temperatur lingkungan.

### 2.2.2.1 Bagian-bagian kolektor surya pelat datar

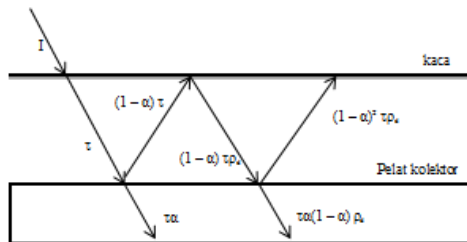
Kolektor surya memiliki bagian-bagian utama, diantaranya:

- a. Pelat penyerap, berfungsi sebagai pengumpul energi radiasi matahari yang diteruskan dari penutup transparan. Biasanya bahan pelat yang banyak digunakan adalah alumunium, baja, seng. Karena bahan tersebut memiliki konduktivitas thermal yang tinggi. Pelat dicat warna hitam pekat, ini ditujukan untuk meningkatkan kemampuan daya serap.

- b. Penutup transparan, terbuat dari bahan semitransparan. Biasanya yang sering digunakan adalah kaca. Dipilih bahan yang semitransparan yaitu untuk meneruskan sebagian besar energi radiasi. Fungsi dari penutup ini mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi dari pelat kolektor ke sekeliling.
- c. Isolator, terbuat dari bahan yang konduktivitas termalnya rendah. Fungsinya adalah mengurangi kehilangan panas pada kolektor dengan cara melapisi bagian bawah.

### 2.2.2.2 Radiasi yang diserap kolektor

Berkas radiasi matahari yang menimpa kolektor, pertama akan menembus penutup transparan (kaca), kemudian menimpa pelat penyerap. Radiasi ini sebagian diserap oleh pelat penyerap, sebagian yang lain dipantulkan kembali. Pantulan dari pelat penyerap tersebut akan dipantulkan kembali oleh penutup kaca. Sehingga akan terjadi proses pemantulan yang terulang. Hal ini ditunjukkan pada gambar 2.21 berikut:



Gambar 2. 21 Penyerapan radiasi matahari oleh pelat penyerap[9]

Bila sejumlah energi radiasi menimpa kolektor, maka energi sebesar  $(\tau\alpha)$  akan diserap oleh pelat penyerap dan sebesar  $(1 - \alpha) \tau$  dipantulkan kembali ke penutup. Pantulan dari pelat penyerap dianggap sebagai radiasi hambur (diffusi radiation), sehingga  $(1 - \alpha) \tau$  yang mengenai penutup merupakan radiasi hambur, dan  $(1 - \alpha) \tau\rho_d$  dipantulkan kembali ke pelat penyerap. Proses pemantulan tersebut terus berulang.

Maksimum energi yang dapat diserap kolektor adalah:

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum [(1 - \alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

Untuk pendekatan perhitungan kolektor dapat digunakan:

$$(\tau\alpha)_{ave} \approx 1,01\tau\alpha \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

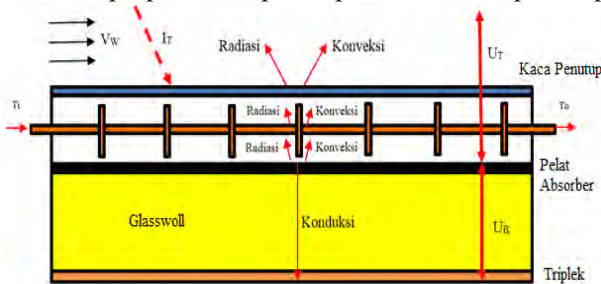
Dimana:  $\tau$  adalah transmisivitas penutup dan  $\alpha$  adalah absorpsivitas pelat penyerap. Perkalian transmisivitas-absorpsivitas rata-rata  $(\tau\alpha)_{ave}$ , didefinisikan sebagai radiasi perbandingan radiasi matahari yang diserap kolektor ( $S$ ) terhadap radiasi matahari yang menimpa kolektor ( $I_T$ ). Sehingga radiasi matahari yang diserap oleh permukaan pelat penyerap adalah:

$$S = (\tau\alpha)_{ave} \cdot I_T = 1,01 \cdot \tau\alpha \cdot I_T \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

### 2.3 Analisa Perpindahan Panas Pada Kolektor

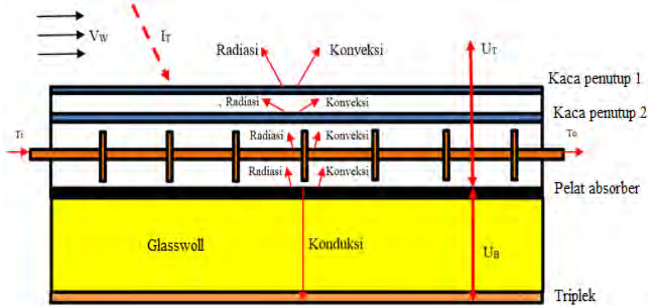
Analisa perpindahan selama di kolektor meliputi perpindahan panas koveksi dan radiasi serta konduksi. Perpindahan panas diawali dari pelat penutup sampai ke triplek, sesuai gambar dibawah ini.

- Analisa perpindahan panas pada satu kaca penutup



Gambar 2. 22 Analisa perpindahan panas pada kolektor dengan satu kaca penutup

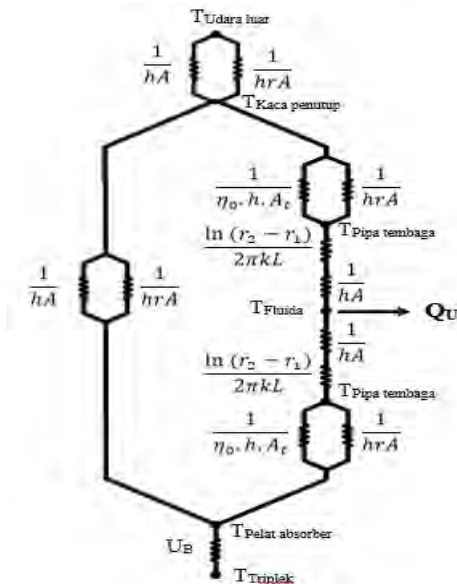
➤ Analisa perpindahan panas pada dua kaca penutup



Gambar 2. 23 Analisa perpindahan panas pada kolektor dengan dua kaca penutup

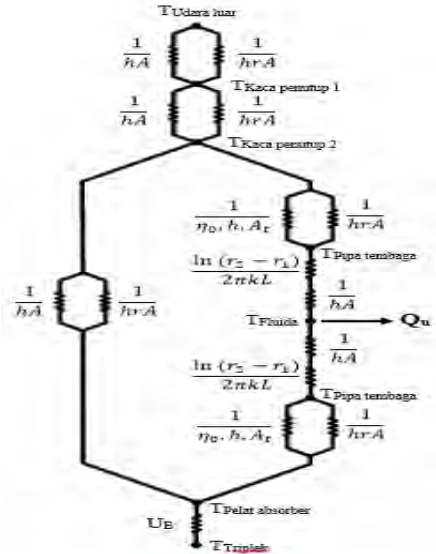
### 2.3.1 Skema Tahanan Thermal

#### 2.3.1.1 Skema Tahanan Thermal Satu Kaca Penutup



Gambar 2. 24 Skema rangkaian tahanan thermal satu kaca penutup

### 2.3.1.2 Skema Tahanan Thermal Dua Kaca Penutup



Gambar 2. 25 Skema rangkaian tahanan thermal dua kaca penutup

### 2.3.2 Koefisien perpindahan panas antara penutup dengan udara luar

Perhitungan koefisien perpindahan panas diatas kolektor atau diatas penutup (kaca) dimulai dengan cara mencari nilai koefisien perpindahan panas konveksi oleh angin, dan koefisien perpindahan panas radiasi.

#### ➤ Konveksi

Koefisien perpindahan panas konveksi yang disebabkan oleh udara yang berhembus diatas kaca penutup adalah:

$$Re_L = \frac{\rho V L}{\mu} = V \frac{L}{\nu} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana:

$Re$  = Bilangan Reynolds

$\rho$  = Massa jenis udara ( $\text{Kg/m}^3$ )

$V$  = Kecepatan angin udara diatas kolektor (m/s)

$L$  = Panjang kolektor (m)

$\mu$  = Viskositas (kg/s.m)

$\nu$  = Viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Bilangan Nusselt untuk plat datar, sebagai berikut:

- Aliran laminar

$$Nu_x = 0,664Re^{1/2}Pr^{1/3} \quad Pr \geq 0,6 \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

- Aliran turbulen

$$Nu_x = 0,0296Re^{4/5}Pr^{1/3} \quad 0,6 \leq Pr \leq 60 \quad \dots\dots\dots(2.32)$$

Sehingga persamaan koefisien konveksinya adalah:

$$Nu_x = \frac{hx}{k} \quad \dots\dots\dots(2.33)$$

#### ➤ Radiasi

Persamaan koefisien perpindahan panas radiasi pada penutup yaitu:

$$h_{r,c-\infty} = \varepsilon\sigma(T_{c1} + T_{\infty})(T_{c1}^2 + T_{\infty}^2) \quad \dots\dots\dots(2.34)$$

Dimana:

$h_{r,c-\infty}$  = koefisien perpindahan panas radiasi penutup ke udara luar

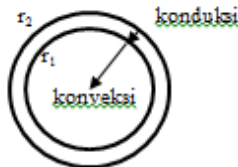
$\varepsilon$  = emisivitas penutup, (Tabel A.11<sup>[1]</sup>)

$\sigma$  = konstanta Boltzman,  $5,67 \times 10^{-8} (\text{W}/\text{m}^2 \text{K}^4)$

$T_{c1}$  = Temperatur penutup (K)

$T_{\infty}$  = Temperatur sekeliling (K)

### 2.3.4 Koefisien perpindahan panas antara fluida dengan pipa



Gambar 2. 26 Analisa perpindahan panas fluida dengan pipa

➤ **Konduksi**

Dari gambar diatas analisa untuk perpindahan panas konduksi adalah:

$$R = \frac{\ln(r_2 - r_1)}{2\pi kL} \dots\dots\dots(2.35)$$

➤ **Konveksi**

Dan untuk perpindahan panas konveksi, yaitu:

Mencari nilai  $Re$

$$Re = \frac{\rho.V.D}{\mu} \dots\dots\dots(2.36)$$

Dari nilai  $Re$  yang diketahui kemudian mencari nilai  $Nu$ ,

- Aliran Laminer

$$Nu_D = 0,023 Re_D^{\frac{4}{5}} P_r^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.37)$$

- Aliran Turbulen

$$Nu_D = 3,66 \rightarrow T_s = konstan \dots\dots\dots(2.38)$$

Sehingga nilai koefisien konveksinya adalah:

$$Nu_D = \frac{hD}{k} \dots\dots\dots(2.39)$$

### 2.3.5 Koefisien perpindahan panas pada pelat absorber

➤ **Konveksi**

Untuk aliran free convection, mencari nilai  $Ra$  (Rayleigh Number). Persamaannya yaitu:

$$Ra = \frac{g\beta(T_{sp} - T_{sur})L^3}{\nu\alpha} \dots\dots\dots(2.40)$$

Dan mencari nilai  $Nu_L$ , sebagai berikut:

$$Nu_L = 0,27 Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{10}) \dots\dots\dots(2.41)$$

Sehingga persamaan konveksinya adalah:

$$Nu_L = \frac{hL}{k} \dots\dots\dots(2.42)$$

➤ **Radiasi**

Persamaan koefisien perpindahan panas radiasi pelat absorber adalah:

$$h_{r,sp-c} = \varepsilon\sigma(T_{sp} + T_{sur})(T_{sp}^2 + T_{sur}^2) \dots\dots\dots(2.43)$$

Dimana:

- $h_{r, \text{sp-c}}$  = koefisien perpindahan panas radiasi pelat absorber ke penutup  
 $\varepsilon$  = emisivitas pelat absorber, (Tabel A.11<sup>[1]</sup>)  
 $\sigma$  = konstanta Boltzman,  $5,67 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>)  
 $T_{\text{sp}}$  = Temperatur pelat absorber (K)  
 $T_{\text{sur}}$  = Temperatur sekeliling (K)

### 2.3.6 Koefisien perpindahan panas pada pipa dan fin

Pada pipa tembaga didalam kolektor terdapat perpindahan panas konveksi dan radiasi.

#### ➤ **Konveksi**

Pada fin rumus untuk mencari tahanan thermalnya adalah: Untuk aliran free convection, mencari nilai Ra (Rayleigh Number). Persamaannya yaitu:

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_{sp}-T_{sur})L^3}{\nu\alpha} \dots\dots\dots(2.44)$$

Selanjutnya mencari nilai  $Nu_D$ , sesuai dengan rekomendasi dari churchil and chu nilai  $Nu_D$  adalah sebagai berikut:

$$Nu_D = \{0,60 + \frac{0,378Ra_D^{1/6}}{[1+(0,559/Pr)^{9/16}]^{8/27}}\}^2 \quad Ra_D \lesssim 10^{12} \dots(2.45)$$

Sehingga persamaan konveksinya adalah:

$$Nu_D = \frac{hD}{k} \dots\dots\dots(2.46)$$

#### ➤ **Radiasi**

Persamaan koefisien perpindahan panas radiasi pada pipa yaitu:

$$h_r = \varepsilon\sigma(T_{sf} + T_{sur})(T_{sf}^2 + T_{sur}^2) \dots\dots\dots(2.47)$$

### 2.3.7 Analisa Perpindahan Panas Konduksi Bagian Bawah ( $U_B$ )

Perpindahan panas konduksi kolektor bagian bawah ada 3 lapisan. Yaitu lapisan plat absorber setebal 1 mm, glasswool setebal 50 mm, dan triplek setebal 4 mm. Analisa masing-masing lapisannya adalah:





Gambar 2. 27 Penampang kolektor bagian bawah  
Sehingga persamaan hambatan total dari bagian bawah adalah:

$$R_{Tot} = \frac{L_{sp}}{k_{sp}A} + \frac{L_G}{k_{GA}} + \frac{L_T}{k_{TA}} \quad \dots\dots\dots(2.48)$$

Dimana:

$R_{Tot}$  = Hambatan total bagian bawah (K/W)

$L_{sp}$  = Tebal plat absorber (m)

$L_G$  = Tebal glasswool (m)

$L_T$  = Tebal triplek (m)

$k_{sp}$  = Konduktivitas thermal pelat absorber (W/m.K)

$k_G$  = Konduktivitas thermal glasswool (W/m.K)

$k_T$  = Konduktivitas thermal triplek (W/m.K)

### 2.3.8 Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup

#### ➤ Konveksi

Untuk aliran free convection, mencari nilai  $Ra$  (Rayleigh Number). Persamaannya yaitu:

$$Ra = \frac{g\beta(T_{c1} - T_{sur})L^3}{\nu\alpha} \quad \dots\dots\dots(2.49)$$

Dan mencari nilai  $Nu_L$ , sebagai berikut:

$$Nu_L = 0,27 Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \lesssim Ra_L \lesssim 10^{10}) \quad \dots\dots\dots(2.50)$$

Sehingga persamaan konveksinya adalah:

$$Nu_L = \frac{hL}{k} \quad \dots\dots\dots(2.51)$$

#### ➤ Radiasi

Persamaan koefisien perpindahan panas radiasi pelat absorber adalah:

$$h_{r,sp-c} = \varepsilon\sigma(T_{c2} + T_{sur})(T_{c2}^2 + T_{sur}^2) \quad \dots\dots\dots(2.52)$$

Dimana:

$h_{r, \text{sp-c}}$  = koefisien perpindahan panas radiasi pelat absorber ke penutup

$\varepsilon$  = emisivitas pelat absorber, (Tabel A.11<sup>[1]</sup>)

$\sigma$  = konstanta Boltzman,  $5,67 \times 10^{-8}$  (W/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>)

$T_{c2}$  = Temperatur kaca penutup 2 (K)

$T_{\text{sur}}$  = Temperatur sekeliling (K)

### 2.3.9 Koefisien Rugi Panas Menyeluruh

Overall heat transfer coefficient total ( $U_L$ ) pada kolektor surya pemanas air dengan pelat datar. Dirumuskan sebagai berikut:

$$U_L = U_T + U_B \dots\dots\dots(2.53)$$

Dimana:

$U_L$  = Overall heat transfer coefficient total (W/m<sup>2</sup> K)

$U_T$  = Overall heat transfer coefficient bagian atas (W/m<sup>2</sup> K)

$U_B$  = Overall heat transfer coefficient bagian bawah (W/m<sup>2</sup> K)

➤ 1 kaca penutup untuk bagian atas, maka:

- Rangkaian thermal pada penutup ke lingkungan yaitu:

$$R_{c-\infty 1} = \frac{1}{h_A + h_{rA}} \dots\dots\dots(2.54)$$

- Rangkaian thermal pada pelat absorber ke kaca penutup yaitu:

$$R_{abs-c} = \frac{1}{h_A + h_{rA}} \dots\dots\dots(2.56)$$

- Rangkaian thermal pada pelat absorber ke pipa yaitu:

$$R_{abs-p} = \frac{1}{\eta_0 \cdot h_{A_t} + h_{rA}} \dots\dots\dots(2.57)$$

- Rangkaian thermal pada pipa ke kaca penutup yaitu:

$$R_{p-c} = \frac{1}{\eta_0 \cdot h_{A_t} + h_{rA}} \dots\dots\dots(2.57)$$

- Rangkaian thermal pada fin ke fluida yaitu:

$$R_{p-f} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} + \frac{1}{h_A} \dots\dots\dots(2.58)$$

- Rangkaian thermal dalam kolektor yaitu:

$$R_{DK} = \frac{R_{abs-c} \cdot (R_{abs-p} + R_{p-c} + R_{p-f})}{R_{abs-c} + (R_{abs-p} + R_{p-c} + R_{p-f})} \dots\dots\dots(2.59)$$

Untuk bagian bawah, maka:

- Rangkaian thermal pada pelat absorber dengan isolator sama dengan persamaan (2.48) yaitu:

$$R_B = \frac{L_{sp}}{k_{sp}A} + \frac{L_G}{k_GA} + \frac{L_T}{k_TA} \dots\dots\dots(2.60)$$

Sehingga:

$$U_T = \frac{1}{R_{c-\infty} + R_{DK}} \dots\dots\dots(2.61)$$

$$U_B = \frac{1}{R_B} \dots\dots\dots(2.62)$$

➤ 2 kaca penutup untuk bagian atas, maka:

- Rangkaian thermal pada penutup satu ke lingkungan yaitu:

$$R_{c-\infty} = \frac{1}{hA + h_rA} \dots\dots\dots(2.63)$$

- Rangkaian thermal pada penutup dua ke kaca penutup satu yaitu:

$$R_{c1-c2} = \frac{1}{hA + h_rA} \dots\dots\dots(2.64)$$

- Rangkaian thermal pada pelat absorber ke kaca penutup dua yaitu:

$$R_{sp-c2} = \frac{1}{hA + h_rA} \dots\dots\dots(2.65)$$

- Rangkaian thermal pada pipa ke kaca penutup dua yaitu:

$$R_{p-c2} = \frac{1}{\eta_0 \cdot h \cdot A_t + h_rA} \dots\dots\dots(2.66)$$

- Rangkaian thermal pada pelat absorber ke kaca penutup dua yaitu:

$$R_{sp-c2} = \frac{1}{\eta_0 \cdot h \cdot A_t + h_rA} \dots\dots\dots(2.67)$$

- Rangkaian thermal pada fin ke fluida yaitu:

$$R_{p-f} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi kL} + \frac{1}{hA} \dots\dots\dots(2.68)$$

- Rangkaian thermal dalam kolektor yaitu:

$$R_{DK} = \frac{R_{sp-c2} \cdot (R_{sp-p} + R_{p-c2} + R_{p-f})}{R_{sp-c2} + ((R_{sp-p} + R_{p-c2} + R_{p-f}))} \dots\dots\dots(2.69)$$

Untuk bagian bawah, maka:

- Rangkaian thermal pada pelat absorber dengan isolator sama dengan persamaan (2.48) yaitu:

$$R_B = \frac{L_{sp}}{k_{sp}A} + \frac{L_G}{k_GA} + \frac{L_T}{k_TA} \dots\dots\dots(2.70)$$

Sehingga:

$$U_T = \frac{1}{R_{C-\infty} + R_{c2-c1} + R_{DK}} \dots\dots\dots(2.71)$$

$$U_B = \frac{1}{R_B} \dots\dots\dots(2.72)$$

Dari persamaan 2.61 dan 2.62 dimasukkan ke persamaan 2.53 untuk satu kaca penutup dan persamaan 2.71 dan 2.72 dimasukkan ke persamaan 2.53 untuk dua kaca penutup.

### 2.3.10 Faktor Pelepasan Panas Pada Kolektor Surya ( $F_R$ )

Untuk mencari nilai faktor pelepasan panas digunakan rumus sebagai berikut, dengan data-data yang diketahui:

- Panjang satu segmen pipa serpentine ( $L$ ) : m
- Jarak antar pipa ( $W$ ) : m
- Jumlah segmen pipa ( $N$ )
- Tebal pelat *absorber* ( $\delta$ ) : m
- Diameter pipa ( $D$ ) : m
- Konduktivitas pelat *absorber* ( $kp$ ) : W/mK

- g) Koefisien Perpindahan Panas Total ( $U_L$ ) :  
 $W/m^2K$   
 h) Laju aliran massa air ( $\dot{m}$ ) :  $m^3/s$   
 i) Kalor spesifik air ( $C_p$ ) :  $J/kgK$   
 j) Koefisien konveksi pipa-air ( $h_f$ ) :  
 $W/m^2K$

$$n = (W - D) \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}} \dots\dots\dots(2.73)$$

$$K = \frac{kp.\delta.n}{(W-D) \sinh n} \dots\dots\dots(2.74)$$

$$\gamma = -2 \cosh n - \frac{DU_L}{K} \dots\dots\dots(2.75)$$

$$R = \frac{1}{\pi D h_f} \dots\dots\dots(2.76)$$

$$F_1 = \frac{NKL}{U_L A_c} \frac{KR(1+\gamma)^2 - 1 - \gamma - KR}{[KR(1+\gamma) - 1]^2 - (KR)^2} \dots\dots\dots(2.77)$$

$$F_2 = \frac{1}{KR(1+\gamma)^2 - 1 - \gamma - KR} \dots\dots\dots(2.78)$$

$$F_3 = \frac{KL}{\dot{m} C_p} \frac{KR(1+\gamma)^2 - 1 - \gamma - KR}{[KR(1+\gamma) - 1]^2 - (KR)^2} \dots\dots\dots(2.79)$$

$$F_4 = \sqrt{\frac{1 - F_2^2}{F_2^2}} \dots\dots\dots(2.80)$$

$$F_5 = \frac{1}{F_2} + F_4 - 1 \dots\dots\dots(2.81)$$

$$F_6 = 1 - \frac{1}{F_2} + F_4 \dots\dots\dots(2.82)$$

$$F_R = \frac{F_1}{2F_3} \left\{ 1 + \left[ \frac{2F_4 F_5}{F_6 \exp(-2F_3 \sqrt{1 - F_2^2}) + F_5} - \frac{1}{F_2} - F_4 \right] \right\} \dots\dots\dots(2.83)$$

### 2.3.11 Energi Pada Kolektor Surya

Energi berupa panas pada kolektor surya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{u \text{ Solar kolektor}} = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_a)] \dots\dots\dots(2.84)$$

Sedangkan energi yang digunakan sebagai pemanas air adalah sebagai berikut:

$$Q_{u \text{ solar water heater}} = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \dots\dots\dots(2.85)$$

**2.3.12 Efisiensi Kolektor Surya**

Efisiensi kolektor surya pemanas air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{Solar \text{ kolektor}} = \frac{Q_{u \text{ Solar kolektor}}}{A_c I_T} \dots\dots\dots(2.86)$$

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dan kajian matematis. Kegiatan penelitian ini dibuat model penambahan luasan pada pipa tembaga (fin) , dimana fin yang digunakan berbentuk *annular*, serta menggunakan satu dan dua kaca penutup yang diharapkan dapat menyerap panas lebih banyak. Penelitian ini juga memvariasi sudut kemiringan kolektor sebesar 10°, 20°, dan 30° yang dimaksudkan untuk mendapat intensitas paling baik.

#### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di gedung lantai 2 Teknik Mesin ITS Surabaya pada bulan juni 2014. Pengambilan data dilakukan selama 12 hari.

#### **3.3 Peralatan Penelitian**

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat-alat yang digunakan dalam penelitian di lapangan, berupa alat uji dan alat bantu untuk pengukuran.

Peralatan yang digunakan adalah:

1. Kolektor surya dapat dilihat pada gambar 3.1, yang berfungsi untuk mengumpulkan radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi panas yang kemudian ditransfer ke air melalui pipa tembaga.

Dimensi dari kolektor plat surya:

- Kaca bening (clear glass) dengan tebal :0,5cm
- Plat kolektor (seng dicat warna hitam buram) tebal :0,2cm
- Insulator (glass woll) dengan tebal :5 cm
- Jarak antara kaca dengan plat kolektor :3 cm
- Panjang :150 cm
- Lebar :50 cm
- Jarak antara penutup kaca (dua kaca penutup) :0,5 cm





Gambar 3. 1 Kolektor surya

2. Pipa tembaga

Pipa ini berada didalam kolektor surya berfungsi untuk mentransfer panas kolektor surya ke air yang didistribusikan oleh pompa dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Pipa tembaga

3. Pompa, gambar 3.3. berfungsi untuk mensirkulasikan air.



Gambar 3. 3 Pompa air

4. Tandon air gambar 3.4, kapasitas 75 liter diisolasi glass woll setebal 5 cm. Berfungsi untuk menyimpan air sebelum dan sesudah disirkulasikan.



Gambar 3. 4 Tandon air

5. Thermocouple pada gambar 3.5, digunakan untuk mengukur temperatur fluida, penutup satu, penutup dua.



Gambar 3. 5 Thermocouple

6. Termometer air raksa pada gambar 3.6, digunakan untuk mengukur temperatur ambient.



Gambar 3. 6 Thermometer air raksa

7. Termometer infra merah pada gambar 3.7, digunakan untuk mengukur temperatur plat absorber, pipa tembaga, triplek.



Gambar 3. 7 Thermometer infra merah

8. Solarimeter pada gambar 3.8, digunakan untuk mengukur intensitas radiasi matahari.



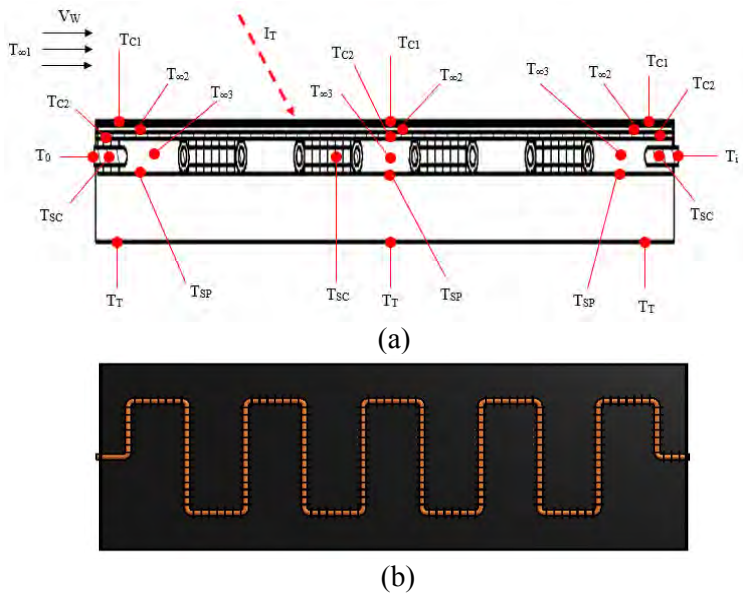
Gambar 3. 8 Solarimeter

9. Anemometer, digunakan untuk mengukur kecepatan udara.
10. Jam, digunakan untuk mengukur interval waktu pengujian yaitu 1 jam sekali selama 6 jam perhari percobaan.

### **3.4 Parameter-Parameter yang Digunakan Dalam Penelitian**

Parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari parameter yang ditetapkan, parameter yang diukur , parameter yang divariasikan dan parameter yang dihitung sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.9 dan tabel 3.1.

Dalam pengambilan data temperatur pada kolektor surya dilakukan pada beberapa titik seperti ditunjukkan oleh gambar berikut :



Gambar 3. 9 Penempatan alat ukur

Tabel 3.1 Tabel parameter-parameter yang digunakan dalam penelitian

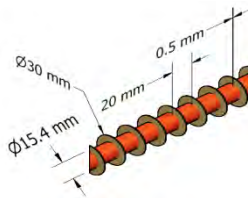
|                              |  |
|------------------------------|--|
| 1. Parameter yang ditetapkan | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Debit Aliran (<math>Q</math>) = 1000 Liter/jam</li><li>➤ Luas kolektor (<math>A_c</math>) = 0,75 m<sup>2</sup></li><li>➤ Diameter luar (<math>D_o</math>) = 0,0154 m</li><li>➤ Diameter dalam (<math>D_i</math>) = 0,015 m</li><li>➤ Jarak absorber ke kaca penutup = 0,03 m</li><li>➤ Tinggi <i>fin</i> = 1,46 mm</li><li>➤ <i>Fin pitch</i> (<math>f_p</math>) = 4 cm</li><li>➤ Tebal <i>absorber</i> = 2 mm</li><li>➤ Jumlah <i>fin</i> = 100</li><li>➤ Tebal <i>Glass woll</i> (<math>L_{gw}</math>) = 0,05 m</li><li>➤ Tebal triplek (<math>L_T</math>) = 0,004 m</li></ul> |
| 2. Parameter                 | <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Intensitas cahaya, <math>I_T</math></li></ul>  |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| yang diukur                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Kecepatan angin, <math>V_w</math></li> <li>➤ Temperatur udara luar (ambient), <math>T_{\infty 1}</math></li> <li>➤ Temperatur antar kaca penutup (dua kaca penutup), <math>T_{\infty 2}</math></li> <li>➤ Temperatur dalam kolektor, <math>T_{\infty 3}</math></li> <li>➤ Temperatur permukaan kaca satu, <math>T_{c1}</math></li> <li>➤ Temperatur permukaan kaca dua, <math>T_{c2}</math></li> <li>➤ Temperatur permukaan pipa tembaga (base), <math>T_{sc}</math></li> <li>➤ Temperatur permukaan pelat absorber, <math>T_{sp}</math></li> <li>➤ Temperatur air masuk kolektor, <math>T_i</math></li> <li>➤ Temperatur air keluar kolektor, <math>T_o</math></li> <li>➤ Temperatur triplek, <math>T_T</math></li> </ul> |
| 3. Parameter yang divariasikan | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sudut kemiringan kolektor (<math>\beta</math>) = <math>10^0</math>, <math>20^0</math>, dan <math>30^0</math></li> <li>➤ Kaca penutup = satu dan dua kaca penutup</li> </ul>  |
| 4. Parameter yang dihitung     | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Radiasi yang diserap <i>absorber</i> (<math>S</math>)</li> <li>➤ Koefisien konveksi pada kaca penutup satu (<math>h_{c1}</math>)</li> <li>➤ Koefisien konveksi pada kaca penutup dua (<math>h_{c2}</math>)</li> <li>➤ Koefisien konveksi pada pipa/base (<math>h_{sc}</math>)</li> <li>➤ Koefisien konveksi pada air (<math>h_f</math>)</li> <li>➤ Koefisien konveksi pada <i>absorber</i> (<math>h_{sp}</math>)</li> <li>➤ Koefisien radiasi pada kaca</li> </ul>   |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>penutup satu (<math>hr_{c1}</math>)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Koefisien radiasi pada kaca penutup dua (<math>hr_{c2}</math>)</li> <li>➤ Koefisien radiasi pipa/base (<math>hr_b</math>)</li> <li>➤ Koefisien radiasi <i>absorber</i> (<math>hr_{sp}</math>)</li> <li>➤ Efisiensi permukaan total (<math>\eta_o</math>)</li> <li>➤ <i>Overall Heat Transfer Coefficient</i> (<math>U_L</math>)</li> <li>➤ <i>Heat removal factor</i> (<math>F_R</math>)</li> <li>➤ Panas berguna secara teori, satu dan dua kaca (<math>Q_{u.Desain}</math>)</li> <li>➤ Panas berguna secara actual, satu dan dua kaca (<math>Q_{u.actual}</math>)</li> <li>➤ Efisiensi secara teori, satu dan dua kaca (<math>\eta_{Desain}</math>)</li> <li>➤ Efisiensi secara actual, satu dan dua kaca (<math>\eta_{actual}</math>)</li> </ul> |
|--|---|

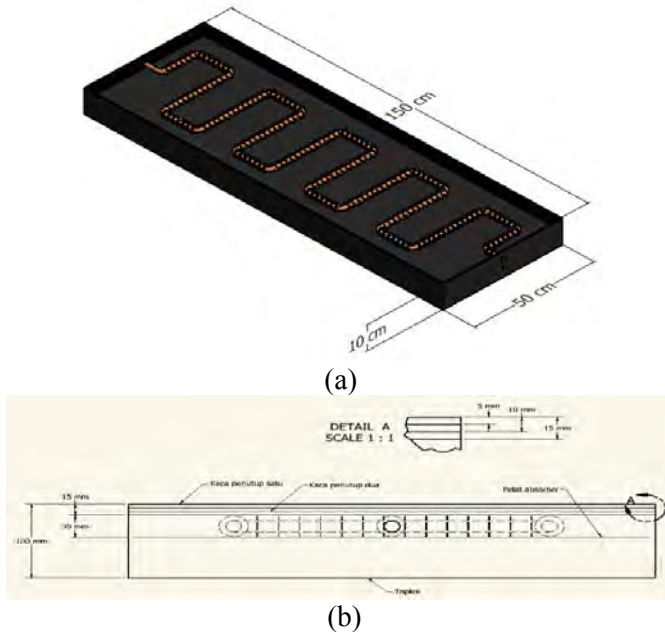
### 3.5 Desain Kolektor

Disini akan dijelaskan mengenai desain dari peralatan percobaan. Yang pertama adalah dimensi dari fin dan juga jarak antar fin pada gambar 3.10.



Gambar 3. 10 Dimensi fin

Dimensi dari kolektor pada gambar 3.11 adalah:



Gambar 3. 11 Dimensi Kolektor

### 3.6 Prosedur Pengambilan Data

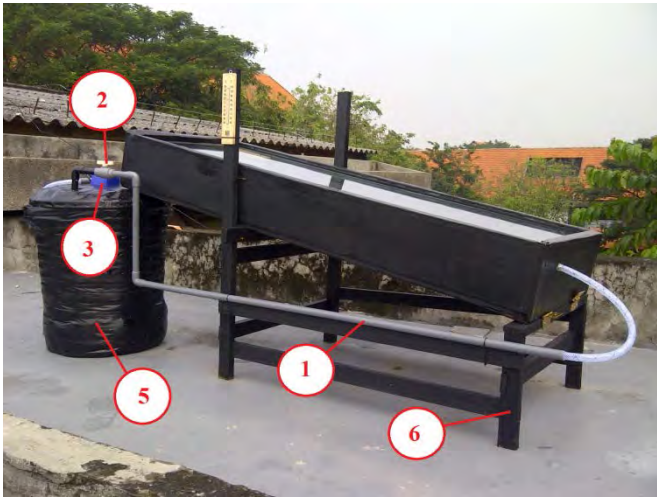
Pada pengujian ini akan dilakukan pengambilan data sebanyak 2 kali untuk masing-masing variasi jumlah kaca penutup dan variasi debit. Kaca penutup yang digunakan sebanyak satu dan dua buah, sehingga waktu yang digunakan untuk pengambilan data adalah 12 hari. Pada masing-masing pengujian terdiri dari 3 tahap, yaitu tahap persiapan, tahap pengambilan data, tahap akhir. Adapun penjelasan masing-masing tahap akan dijelaskan sebagai berikut:

- a. Tahap persiapan
  1. Mempersiapkan dan memastikan dalam kondisi baik peralatan yang digunakan
  2. Merangkai peralatan alat ukur

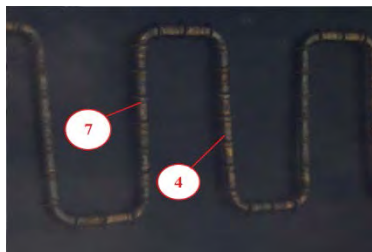
- b. Tahap pengambilan data
1. Pastikan peralatan sudah terpasang pada tempatnya
  2. Menyalakan pompa
  3. Mengatur posisi kolektor surya menghadap ke utara.
  4. Memvariasikan sudut kemiringan kolektor dengan mengatur kemiringan kolektor mulai  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ , sampai  $30^\circ$ .
  5. Ambil data meliputi:
    - Intensitas cahaya,  $I_T$
    - Kecepatan angin,  $V_w$
    - Temperatur udara luar (ambient),  $T_{\infty 1}$
    - Temperatur antar kaca penutup (dua kaca penutup),  $T_{\infty 2}$
    - Temperatur dalam kolektor,  $T_{\infty 3}$
    - Temperatur permukaan kaca satu,  $T_{c1}$
    - Temperatur permukaan kaca dua,  $T_{c2}$
    - Temperatur permukaan pipa tembaga (base),  $T_{sc}$
    - Temperatur permukaan pelat absorber,  $T_{sp}$
    - Temperatur air masuk kolektor,  $T_i$
    - Temperatur air keluar kolektor,  $T_o$
    - Temperatur triplek,  $T_T$
- c. Tahap akhir
1. Matikan pompa
  2. Amankan peralatan ukur



### 3.7 Gambar Instalasi Penelitian



(a)



(b)

Gambar 3. 12 Gambar instalasi penelitian

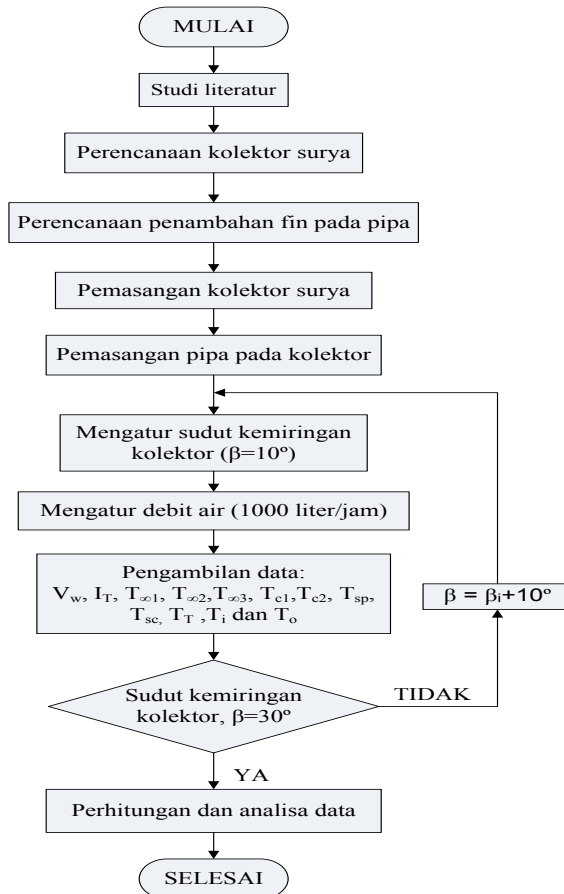
Keterangan gambar:

1. Pipa PVC
2. Keran pengatur debit aliran

3. Pompa air
4. Pipa tembaga
5. Tendon air kapasitas 75 liter
6. Frame
7. *Eksternal annular fin*

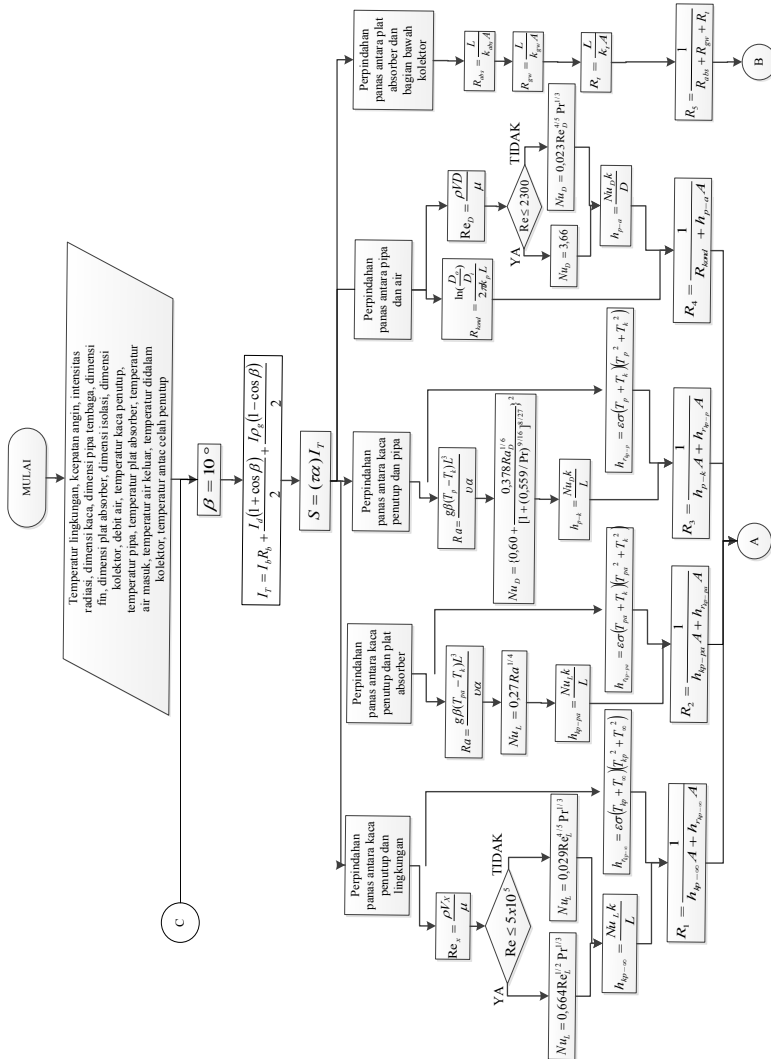
### 3.8 Diagram Alir Tugas Akhir

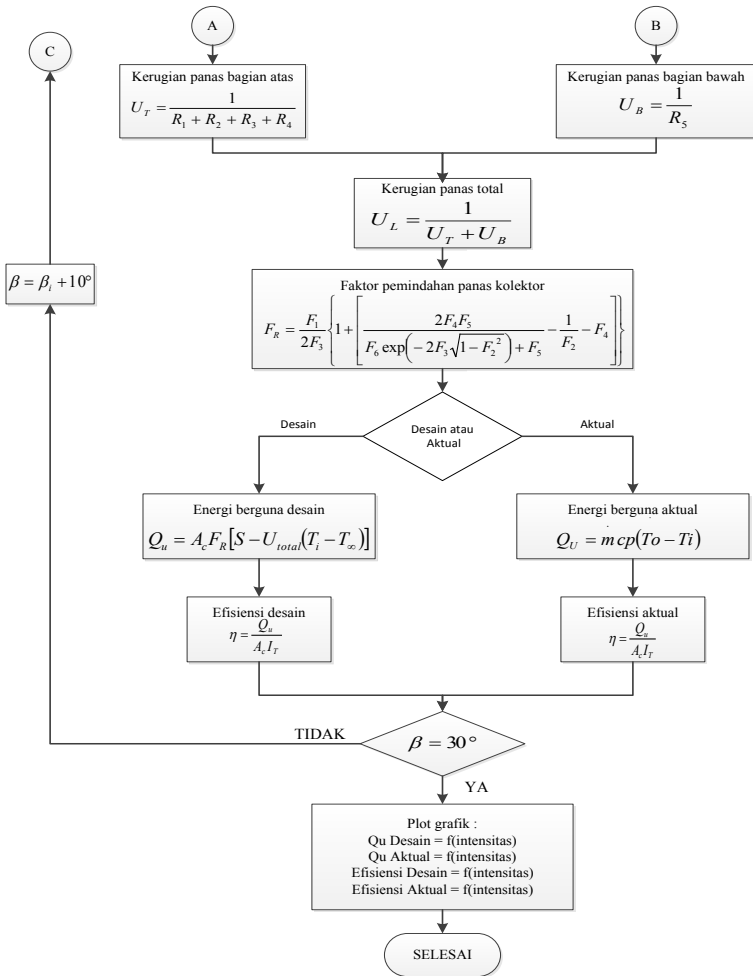
#### 3.8.1 Flowchart percobaan satu kaca penutup dan dua kaca penutup



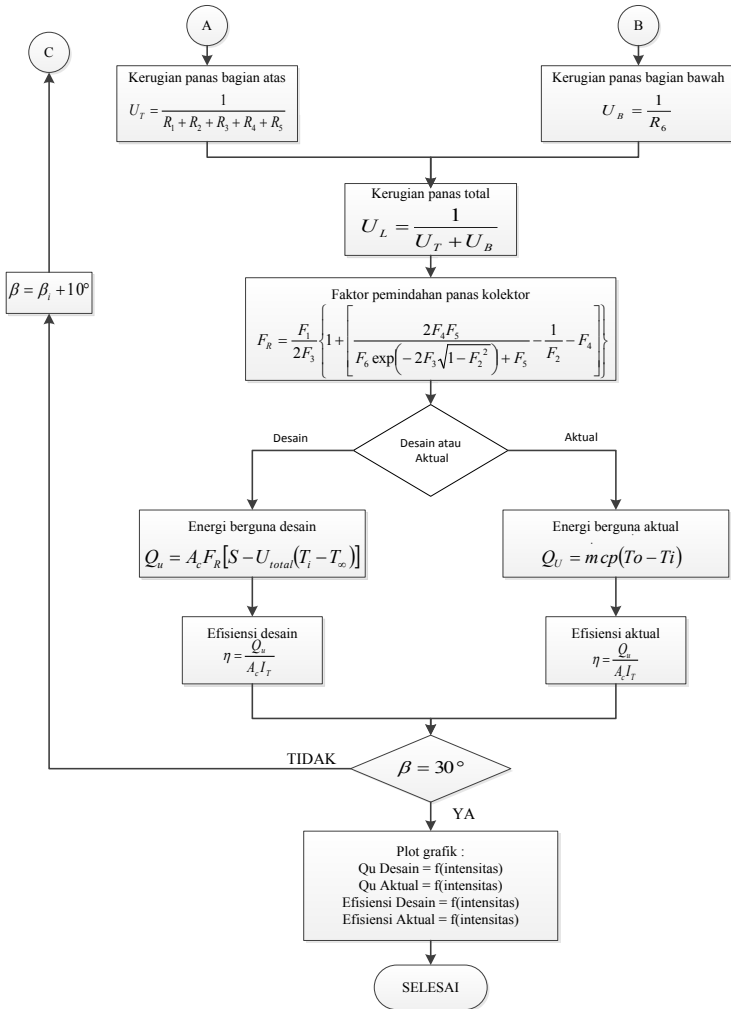
### 3.9 Diagram Alir Perhitungan

#### 3.9.1. Diagram Alir Perhitungan dengan 1 kaca penutup









*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### ANALISA PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Contoh Perhitungan Satu Kaca Penutup

##### 4.1.1 Analisa Perhitungan pada Kolektor dengan Satu Kaca Penutup

Sebagai contoh perhitungan maka diambil data pada variasi sudut kemiringan kolektor 10 derajat saat jam 12.00 WIB, adalah sebagai berikut:

1. Debit fluida kerja : 0,00028 m<sup>3</sup>/s
2. Intensitas radiasi matahari (I) : 823,53 W/m<sup>2</sup>
3. Kec. Udara ambient (T<sub>∞1</sub>) : 0,1 m/s
4. Temperatur udara ambient : 310,5 K
5. Temperatur kaca penutup (T<sub>C</sub>) : 346,6 K
6. Temperatur pelat absorber (T<sub>abs</sub>) : 378,7 K
7. Temperatur udara dalam kolektor (T<sub>∞2</sub>) : 373,4 K
8. Temperatur fluida masuk : 310,3 K
9. Temperatur fluida keluar : 311,5 K
10. Temperatur pipa : 322,6 K
11. Temperatur triplek : 310,9 K

#### ➤ Perhitungan Radiasi Yang Mengenai Kolektor Surya

##### • Perhitungan Sudut Jam

$$\begin{aligned}
 B &= (n - 1) \frac{360}{365} \\
 &= (152 - 1) \frac{360}{365} \\
 &= 148,932
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E &= 229,2(0,000075 + 0,001868 \cos 148,932 \\
 &\quad - 0,032077 \sin 148,932 \\
 &\quad - 0,014615 \cos(2 \times 148,932) \\
 &\quad - 0,04089 \sin(2 \times 148,932))
 \end{aligned}$$



$$= 2,576$$

$$\begin{aligned}\text{Solar time} &= \text{Standard time} + 4(L_{st} - L_{loc}) + E \\ &= 12.00 + 4(105 - 112,74) + 2,576 \\ &= 12.00 - 28 \text{ menit} \\ &= 11.32\end{aligned}$$

Karena pukul 11.32 kurang 28 menit (0,46 jam) dari pukul 12.00 maka

$$\omega = -(0,46 \times 15^0) = -7^0$$

- **Perhitungan Sudut Deklinasi**

$$\begin{aligned}\delta &= 23,45 \sin \left( 360 \frac{284 + n}{365} \right) \\ &= 23,45 \sin \left( 360 \frac{284 + 152}{365} \right) \\ &= 22,04^0\end{aligned}$$

- **Perhitungan Sudut Sinar Datang**

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ &\quad + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &\quad + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &\quad + \cos \delta \sin \beta \cos \gamma \sin \omega \\ &= \sin 22,04^0 \sin(-7,249^0) \cos 10^0 \\ &\quad - \sin 22,04^0 \cos(-7,249^0) \sin 10^0 \cos 180^0 \\ &\quad + \cos 22,04^0 \cos(-7,249^0) \cos 10^0 \cos(-8,5^0) \\ &\quad + \cos 22,04^0 \sin(-7,249^0) \sin 10^0 \cos 180^0 \\ &\quad + \cos 22,04^0 \sin 10^0 \cos 180^0 \sin(-7^0) \\ &= 0,937\end{aligned}$$

- **Perhitungan Sudut Zenit**

$$\begin{aligned}\cos \theta_z &= \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \\ &= \cos(-7,249^0) \cos 22,04^0 \cos(-7^0) \\ &\quad + \sin(-7,249^0) \sin 22,04^0 \\ &= 0,865\end{aligned}$$

- **Perhitungan Rasio Radiasi Pada Bidang Miring Dengan Bidang Horizontal**

$$R_B = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$$

$$= \frac{0,937}{0,865}$$

$$= 1,083$$

- **Perhitungan Intensitas Radiasi Di luar Atmosfer**

$$\begin{aligned}
 I_o &= \frac{12 \times G_{sc}}{\pi} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360 n}{365} \right) \\
 &\quad \times \left[ \cos \phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\pi(\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \phi \sin \delta \right] \\
 &= \frac{12 \times 1353}{3,14} \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360 \times 152}{365} \right) \\
 &\quad \times \left[ \cos(-7,249^\circ) \cos 22,04^\circ (\sin(-7^\circ) \right. \\
 &\quad \left. - \sin(-22,04^\circ)) \right. \\
 &\quad \left. + \frac{\pi(-7^\circ - (-22,04^\circ))}{180} \sin(-7,249^\circ) \sin 22,04^\circ \right] \\
 &= 1105,100 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan Indeks Kecerahan**

$$\begin{aligned}
 K_T &= \frac{I}{I_o} \\
 &= \frac{823,529 \text{ W/m}^2}{1105,100 \text{ W/m}^2} \\
 &= 0,745
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan Intensitas Radiasi Hambur Matahari**

$$\begin{aligned}
 I_d &= 0,177 I \\
 &= 0,177 \times 823,529 \text{ W/m}^2 \\
 &= 153,026 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan Intensitas radiasi langsung matahari**

$$\begin{aligned}
 I_b &= I - I_d \\
 &= 823,529 \text{ W/m}^2 - 153,026 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

$$= 670,503 \text{ W/m}^2$$

- **Perhitungan Intensitas Radiasi Matahari Pada Permukaan Miring**

$$\begin{aligned} I_T &= I_b R_b + \frac{I_d(1 + \cos \beta)}{2} + \frac{I_{\rho_g}(1 - \cos \beta)}{2} \\ &= 670,503 \text{ W/m}^2 \times 1,083 \\ &\quad + \frac{153,026 \text{ W/m}^2 (1 + \cos 10^\circ)}{2} \\ &\quad + \frac{823,529 \text{ W/m}^2 \times 0,2 (1 - \cos 10^\circ)}{2} \\ &= 879,140 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk sudut kemiringan  $20^\circ$  dan  $30^\circ$  perhitungannya sama, bedanya mengganti nilai  $\beta = 10^\circ$  dengan nilai  $20^\circ$  dan  $30^\circ$ . Dan untuk dua kaca penutup perhitungan mencari  $I_T$  juga sama.

- **Analisa Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima Plat Absorber**

Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh pelat absorber kolektor sangat dipengaruhi besarnya transmisivitas dan absorpsivitas cover. Dengan data rancangan kolektor sebagai berikut:

Bahan cover adalah kaca dengan  $\tau = 0,79$  ;  $\alpha = 0,95$

$$S = 1,01(\tau\alpha)I_T$$

$$S = 1,01(0,79 \cdot 0,95)879,140 = 666,39 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- **Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan**
- **Perpindahan Panas Konveksi Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan**

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure*[1] didapat data-data properties udara pada

temperatur 310,5 K adalah  $\rho_{\text{udara}} = 1,1439 \text{ kg/m}^3$ ;  $\mu_{\text{udara}} = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$ ;  $\text{Pr} = 0,705$

Reynold number untuk kaca penutup dengan lingkungan:

$$Re_{c-\infty} = \frac{\rho_{\text{udara}} \cdot V_{\text{udara}} \cdot L}{\mu_{\text{udara}}}$$

$$Re_{c-\infty} = \frac{1,1439 \cdot 0,1 \cdot 1,5}{1,9 \cdot 10^{-5}} = 9030,696$$

Nusselt number untuk kaca penutup dengan lingkungan:

$$Nu_{c-\infty} = 0,664 Re_x^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{c-\infty} = 0,664 (9030,696)^{\frac{1}{2}} 0,705^{\frac{1}{3}} = 56,26$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca dan udara

$$h_{c-\infty} = \frac{Nu \cdot k_c}{L}$$

$$h_{c-\infty} = \frac{56,26 \cdot 0,0274}{1,5m} = 1,027 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

- **Perpindahan panas Radiasi Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan**

$$h_{r_{c-\infty}} = \varepsilon \sigma (T_c + T_{\infty})(T_c^2 + T_{\infty}^2)$$

$$h_{r_{c-\infty}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (346,6 + 310,5)(346,6^2 + 310,5^2) = 7,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Hambatan total pada kaca penutup dengan lingkungan:

$$R_{c-\infty} = \frac{1}{h_{c-\infty} + h_{r_{c-\infty}}} = \frac{1}{7,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} + 1,027 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}}$$

$$= 0,12065 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

- **Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup dengan Plat Absorber**
- **Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup dengan Plat Absorber**

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada

temperatur 362,65 K adalah  $v_{\text{kolektor}} = 2,25 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\alpha_{\text{kolektor}} = 2,94 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{362,65} = 0,00276/\text{K}$

Rayleigh number untuk kaca penutup dengan plat absorber:

$$Ra_{kp-pa} = \frac{g\beta\Delta TL^3}{v_{\text{kolektor}}\alpha_{\text{kolektor}}}$$

$$Ra_{c-abs} = \frac{9,81 \cdot 0,0276 \cdot (105,7 - 73,6)(1,5)^3}{2,25 \cdot 10^{-5} \cdot 2,94 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 149024410$$

Nusselt number untuk kaca penutup dengan plat absorber:

$$Nu_{c-abs} = 0,27 \cdot 149024410^{1/4} = 29,83$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca dan plat absorber

$$h_{c-abs} = \frac{Nu \cdot k_c}{L}$$

$$h_{c-abs} = \frac{29,83 \cdot 0,03 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}{1,5\text{m}} = 29,83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

- **Analisa Radiasi Antara Kaca Penutup dengan Plat Absorber**

$$h_{r_{c-abs}} = \varepsilon\sigma(T_c + T_{abs})(T_c^2 + T_{abs}^2)$$

$$h_{r_{c-abs}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}$$

$$(346,6 + 378,7)(346,6^2 + 378,7^2)$$

$$= 9,75 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Hambatan total pada kaca penutup dengan plat absorber:

$$R_{c-abs} = \frac{1}{h_{c-abs} + h_{r_{c-abs}}} = \frac{1}{29,88 + 9,75}$$

$$= 0,025 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

➤ **Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup dengan Pipa**

• **Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup dengan Pipa**

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 334,6 K adalah  $v_{\text{kolektor}} = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  ;  $\alpha_{\text{kolektor}} = 2,796 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{334,6 \text{ K}} = 0,00505/\text{K}$  ; 0,701

Rayleigh number untuk kaca penutup dengan pipa:

$$Ra_{c-p} = \frac{g\beta\Delta TD^3}{v_{\text{kolektor}}\alpha_{\text{kolektor}}}$$

$$Ra_{c-p} = \frac{9,81 \cdot 0,00505 \cdot (73,6 - 49,6)(1,5)^3}{1,9 \cdot 10^{-5} \cdot 2,796 \cdot 10^{-5}} = 846,488$$

Nusselt number untuk kaca penutup dengan pipa:

$$Nu_{c-p} = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_p^{\frac{1}{4}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 \cdot 846,488^{\frac{1}{4}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{0,701} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= 2,446$$

Koefisien konveksi antara kaca penutup dengan pipa:

$$h_{c-p} = \frac{Nu \cdot k_c}{L} = \frac{2,446 \cdot 0,028}{0,0073} = 9,384 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

• **Analisa Radiasi Kaca Penutup dengan Pipa**

$$h_{r_{c-p}} = \varepsilon\sigma(T_p^2 + T_c^2)(T_p^2 + T_c^2)$$

$$h_{r_{c-p}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (322,6 + 346,6)(322,6^2 + 346,6^2)$$

$$= 7,65635 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

• **Analisa Perpindahan Panas yang Melewati Fin**

Efisiensi untuk satu fin:

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{\text{max}}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b}$$

Dimana

$$\begin{aligned}
 q_f &= \sqrt{hPkA_c\theta_b} \frac{\sin mL + \frac{h}{km} \cosh mL}{\cosh mL + \frac{h}{km} \sinh mL} \\
 &= \sqrt{9,384 \cdot 0,09 \cdot 53 \cdot 2,65 \cdot 37,2} \\
 &\quad \frac{\sin 38,27 + \frac{9,384}{53 \cdot 15,52} \cosh 38,27}{\cosh 38,27 + \frac{9,384}{53 \cdot 15,52} \sinh 38,27} \\
 &= 0,00437 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\eta_f = \frac{0,00437}{9,384 \cdot 0,00053 \cdot 50,8} = 0,017$$

Efisiensi total dari fin:

$$\begin{aligned}
 \eta_o &= 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \\
 &= 1 - \frac{100 \cdot 0,00053}{0,43984} (1 - 0,016) \\
 &= 0,881
 \end{aligned}$$

Hambatan total antara kaca penutup dengan pipa:

$$\begin{aligned}
 R_{c-p} &= \frac{1}{\eta_o h_{c-p} + h_{r_{c-p}}} = \frac{1}{0,881 \cdot 9,384 + 7,65635} \\
 &= 0,088 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}
 \end{aligned}$$

### ➤ **Analisa Perpindahan Panas Antara Pipa dengan Absorber**

#### • **Analisa Konveksi Antara Pipa dengan Absorber**

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 350,65 K adalah  $\nu_{\text{kolektor}} = 2,158 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\alpha_{\text{kolektor}} = 3,05 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{350,65} = 0,00467/\text{K}$  ; 0,698

Rayleigh number untuk absorber dengan pipa:

$$Ra_{abs-p} = \frac{g\beta\Delta TD^3}{v_{kolektor}\alpha_{kolektor}}$$

$$Ra_{abs-p} = \frac{9,81 \cdot 0,00505 \cdot (105,7 - 49,6)(1,5)^3}{2,158 \cdot 10^{-5} \cdot 3,05 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 1544,656$$

Nusselt number untuk absorber dengan pipa:

$$Nu_{abs-p} = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_D^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= \left\{ 0,60 + \frac{0,387 \cdot 1544,656^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{0,698} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= 2,774$$

Koefisien konveksi antara absorber dengan pipa:

$$h_{abs-p} = \frac{Nu \cdot k_c}{L} = \frac{2,774 \cdot 0,028}{0,0073} = 10,64 \frac{m^2K}{W}$$

- **Analisa Radiasi Pipa dengan Absorber**

$$h_{r_{abs-p}} = \varepsilon\sigma(T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2)$$

$$h_{r_{abs-p}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}$$

$$(378,7 + 346,6)(378,7^2 + 346,6^2)$$

$$\frac{W}{m^2K}$$

$$= 8,85 \frac{W}{m^2K}$$

- **Analisa Perpindahan Panas yang Melewati Fin**

Efisiensi untuk satu fin:

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b}$$



Dimana

$$\begin{aligned}
 q_f &= \sqrt{hPkA_c\theta_b} \frac{\sin mL + \frac{h}{km} \cosh mL}{\cosh mL + \frac{h}{km} \sinh mL} \\
 &= \sqrt{10,64 \cdot 0,09 \cdot 53 \cdot 2,65 \cdot 37,2} \\
 &\quad \frac{\sin 38,27 + \frac{9,384}{53 \cdot 15,52} \cosh 38,27}{\cosh 38,27 + \frac{9,384}{53 \cdot 15,52} \sinh 38,27} \\
 &= 0,0036 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\eta_f = \frac{0,0036}{9,384 \cdot 0,00053 \cdot 50,8} = 0,017$$

Efisiensi total dari fin:

$$\begin{aligned}
 \eta_o &= 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \\
 &= 1 - \frac{100 \cdot 0,00053}{0,43984} (1 - 0,016) = 0,881
 \end{aligned}$$

Hambatan total antara absorber dengan pipa:

$$\begin{aligned}
 R_{abs-p} &= \frac{1}{\eta_o h_{abs-p} + h_{r_{abs-p}}} \\
 &= \frac{1}{0,881 \cdot 9,384 + 7,65635} = 0,077 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}
 \end{aligned}$$

➤ **Analisa Perpindahan Panas Antara Pipa dengan Air**

• **Analisa Konveksi Pipa Dengan Air**

Dari tabel *properties of water* didapat data-data properties air pada temperatur 310,9 K adalah  $\rho_{\text{air}} = 999,84 \text{ kg/m}^3$ ;  $\mu_{\text{air}} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ Ns/m}^2$ ;  $\text{Pr} = 4,7073$

Reynold number untuk pipa dengan air:

$$\begin{aligned}
 Re_{p-f} &= \frac{\rho_{\text{air}} \cdot V_{\text{air}} \cdot D}{\mu_{\text{air}}} \\
 Re_{p-f} &= \frac{999,84 \cdot 1,527 \cdot 0,015}{7 \cdot 10^{-5}} = 33293,4
 \end{aligned}$$

Nusselt number untuk pipa dengan air:

$$Nu_{p-f} = 0,023 Re_D^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{p-f} = 0,023 \cdot 33293,4^{\frac{4}{5}} \cdot 4,7073^{\frac{1}{3}} = 159,908$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara pipa dan air

$$h_{p-f} = \frac{Nu \cdot k}{D}$$

$$h_{p-f} = \frac{48,04 \cdot 0,628}{0,015} = 6694,83 \frac{W}{m^2K}$$

Hambatan total untuk pipa dengan air:

$$R_{p-f} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k_p} + \frac{1}{h_{p-f}} = \frac{\ln\left(\frac{0,0154}{0,015}\right)}{2\pi \cdot 42,79} + \frac{1}{6694,83}$$

$$= 0,001395 \frac{m^2K}{W}$$

➤ **Analisa Perpindahan Panas pada Bagian Bawah Kolektor**

Pada bagian bawah kolektor terdiri dari plat absorber, glass woll dan triplek

$$R_b = \frac{L_{abs}}{K_{abs}} + \frac{L_{gw}}{K_{gw}} + \frac{L_t}{K_t}$$

$$R_b = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{113,94} + \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0,037} + \frac{4 \cdot 10^{-3}}{0,017} = 2,276 \frac{m^2K}{W}$$

➤ **Analisa Koefisien Kehilangan Panas Total pada Kolektor**

$$U_L = \frac{1}{R_{c-\infty} + \left( \frac{R_{c-pa} + (R_{c-p} + R_{p-f})}{R_{c-pa} \cdot (R_{c-p} + R_{p-f})} \right) + R_b}$$

$$U_L = \frac{1}{7,013 + 0,367} = 7,38 \frac{W}{m^2K}$$

➤ **Perhitungan Faktor Pelepasan Panas (FR)**

Panjang satu segmen pipa serpentine (L) : 0,4 m

Jarak antar pipa (W) : 0,12 m

Jumlah segmen pipa (N) : 10

|  |                             |
|--|-----------------------------|
| Tebal pelat <i>absorber</i> ( $\delta$ )     | : 0,0002 m                  |
| Diameter pipa ( $D$ )                        | : 0,015 m                   |
| Konduktivitas pelat <i>absorber</i> ( $kp$ ) | : 125,72 W/mK               |
| Koefisien Perpindahan Panas Total ( $U_L$ )  | : 7,38 W/m <sup>2</sup> K   |
| Laju aliran massa air ( $\dot{m}$ )          | : 0,027 kg/s                |
| Kalor spesifik air ( $Cp$ )                  | : 4178,56 J/kgK             |
| Koefisien konveksi pipa-air ( $h_f$ )        | : 6675,7 W/m <sup>2</sup> K |

$$n = (W - D) \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$$

$$= (0,12 \text{ m} - 0,015 \text{ m}) \sqrt{\frac{7,38 \text{ W/m}^2\text{K}}{(125,72 \text{ W/mK})(0,0002 \text{ m})}}$$

$$= 1,799$$

$$K = \frac{kp \cdot \delta \cdot n}{(W - D) \sinh n}$$

$$= \frac{(125,72 \text{ W/mK})(0,0002 \text{ m})(1,799)}{(0,12 \text{ m} - 0,015 \text{ m}) \sinh(1,799)}$$

$$= 0,147 \text{ W/mK}$$

$$\gamma = -2 \cosh n - \frac{DU_L}{K}$$

$$= -2 \cosh 1,799 - \frac{(0,015 \text{ m})(7,38 \text{ W/m}^2\text{K})}{0,147 \text{ W/mK}}$$

$$= -6,964$$

$$R = \frac{1}{\pi D h_f}$$

$$= \frac{1}{(3,14)(0,015 \text{ m})(6675,7 \text{ W/m}^2\text{K})}$$

$$= 0,0032 \text{ mK/W}$$

$$F_1 = \frac{NKL}{U_L A_c} \frac{KR(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - KR}{[KR(1 + \gamma) - 1]^2 - (KR)^2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(10)(0,147 \text{ W/mK})(0,4 \text{ m})}{(7,38 \text{ W/m}^2\text{K})(0,75 \text{ m}^2)} \\
&\quad ((0,147 \text{ W / mK})(0,0032) (1 - 6,964)^2 - \\
&\quad 1 + 6,964 - (0,147 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}))/([(0,147 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W})(1 - \\
&\quad 6,964) - 1]^2 - ((0,147 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}))^2) \\
&= 0,6299
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_2 &= \frac{1}{KR(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - KR} \\
&= 1/((0,147 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}) (1 \\
&\quad - 6,964)^2 - 1 + 6,964 \\
&\quad - (0,147 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W})) \\
&= 0,1672
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_3 &= \frac{KL}{\dot{m}C_p} \frac{KR(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - KR}{[KR(1 + \gamma) - 1]^2 - (KR)^2} \\
&= \frac{(0,147 \text{ W/mK})(0,4 \text{ m})}{(0,027 \text{ m/s})(4178,5 \text{ J/kgK})} \\
&\quad ((0,147 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}) (1 - 6,964)^2 \\
&\quad - 1 + 6,964 - (0,147 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}))/([(0,147 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W})(1 - \\
&\quad 6,964) - 1]^2 - ((0,147 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}))^2) \\
&= 3 \times 10^{-3}
\end{aligned}$$

$$F_4 = \sqrt{\frac{1 - F_2^2}{F_2^2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,1672^2}{0,1672^2}} = 5,8957$$

$$F_5 = \frac{1}{F_2} + F_4 - 1 = \frac{1}{0,1672} + 5,8957 - 1 = 10,8756$$

$$\begin{aligned}
F_6 &= 1 - \frac{1}{F_2} + F_4 = 1 - \frac{1}{0,1672} + 5,8957 \\
&= 0,9158 \\
F_R &= \frac{F_1}{2F_3} \left\{ 1 + \left[ \frac{2F_4F_5}{F_6 \exp(-2F_3\sqrt{1-F_2^2}) + F_5} - \frac{1}{F_2} - F_4 \right] \right\} \\
&= \frac{0,6299}{2(3 \times 10^{-3})} \left\{ 1 \right. \\
&\quad + \left[ \frac{2(5,8957)(10,8756)}{0,9158 \exp(-2(3 \times 10^{-3})\sqrt{1-0,1672^2}) + 10,8756} \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{1}{0,1672} - 5,895 \right] \right\} \\
&= 0,7233
\end{aligned}$$

➤ **Analisa Energi**

Pada penelitian ini memperhitungkan energi yang solar kolektor ( $Q_U$ ) solar kolektor dan energi solar water heater ( $Q_U$ ) Solar water heater

$$\begin{aligned}
a) \quad Q_{u \text{ solar kolektor}} &= A_c F_R [S - U_L (T_i - T_\infty)] \\
&= 0,75 \cdot 0,7233 \\
&\quad [666,39 - 7,38(37,3 - 37,5)] \\
&= 363,09 \text{ W} \\
b) \quad Q_{u \text{ solar water heater}} &= \dot{m} c_p (T_o - T_i) \\
&= 0,027 \cdot 4179 (38,5 - 37,3) \\
&= 207,48 \text{ W}
\end{aligned}$$

➤ **Analisa Efisiensi**

Pada perhitungan ini memperhitungkan efisiensi solar kolektor ( $\eta$ ) solar kolektor. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\eta_{\text{solar kolektor}} = \frac{Q_{u \text{ solar kolektor}}}{A_c \cdot I_T}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{363,09}{0,75.879,14} 100\% \\
 &= 55,067 \%
 \end{aligned}$$

## 4.2. Contoh Perhitungan Dua Kaca Penutup

### 4.2.1 Analisa Perhitungan pada Kolektor dengan Dua Kaca Penutup

Sebagai contoh perhitungan maka diambil data pada variasi sudut kemiringan kolektor 10 derajat saat jam 12.00 WIB, adalah sebagai berikut:

1. Debit fluida kerja : 0,00028 m<sup>3</sup>/s
2. Intensitas radiasi matahari (I) : 732 W/m<sup>2</sup>
3. Kec. Udara ambient (T<sub>∞1</sub>) : 1,5 m/s
4. Temperatur udara ambient : 308 K
5. Temperatur kaca penutup satu (T<sub>C1</sub>): 324 K
6. Temperatur kaca penutup dua (T<sub>C2</sub>): 371,4 K
7. Temperatur udara antar kaca : 350,5 K
8. Temperatur pelat absorber (T<sub>abs</sub>) : 372,3 K
9. Temperatur udara dalam kolektor (T<sub>∞2</sub>) : 367,4 K
10. Temperatur fluida masuk : 309,9 K
11. Temperatur fluida keluar : 310,8 K
12. Temperatur pipa : 329,2 K
13. Temperatur triplek : 311,6 K

#### ➤ Analisa Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima Plat Absorber

Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh pelat absorber kolektor sangat dipengaruhi besarnya transmisivitas dan absorbsivitas cover. Dengan data rancangan kolektor sebagai berikut:

Bahan cover adalah kaca dengan  $\tau = 0,79$  ;  $\alpha = 0,95$  ;  $I_T = 865,302$  W/m<sup>2</sup>

$$S = 1,01(\tau^2\alpha)I_T$$

$$S = 1,01(0,79^2 \cdot 0,95)772,559 = 655,902 \frac{W}{m^2}$$

➤ **Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan**

• **Perpindahan Panas Konveksi Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan**

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure*[1] didapat data-data properties udara pada temperatur 308 K adalah  $\rho_{\text{udara}} = 1,147 \text{ kg/m}^3$ ;  $\mu_{\text{udara}} = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$ ;  $Pr = 0,705$

Reynold number untuk kaca penutup dengan lingkungan:

$$Re_{c1-\infty} = \frac{\rho_{\text{udara}} \cdot V_{\text{udara}} \cdot L}{\mu_{\text{udara}}}$$

$$Re_{c1-\infty} = \frac{1,1439 \cdot 1,5 \cdot 1,5}{1,9 \cdot 10^{-5}} = 136963,99$$

Nusselt number untuk kaca penutup dengan lingkungan:

$$Nu_{c1-\infty} = 0,664 Re_x^{\frac{1}{2}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{c1-\infty} = 0,664 (136963,99)^{\frac{1}{2}} 0,705^{\frac{1}{3}} = 218,76$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca dan udara

$$h_{c-\infty} = \frac{Nu \cdot k_c}{L}$$

$$h_{c1-\infty} = \frac{218,76 \cdot 0,0274}{1,5} = 3,99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

• **Perpindahan panas Radiasi Antara Kaca Penutup dengan Lingkungan**

$$h_{r_{c1-\infty}} = \varepsilon \sigma (T_c + T_{\infty})(T_c^2 + T_{\infty}^2)$$

$$h_{r_{c1-\infty}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (324 + 308)(324^2 + 308^2)$$

$$= 7,815 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Hambatan total pada kaca penutup dengan lingkungan:

$$R_{c1-\infty} = \frac{1}{h_{c-\infty} + h_{r_{c-\infty}}} = \frac{1}{3,99 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} + 7,815 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}}$$

$$= 0,084 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

- **Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup Satu dengan Kaca Penutup Dua**
- **Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup Satu dengan Kaca Penutup Dua**

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 347,7 K adalah  $\nu_{\text{kolektor}} = 2,09 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\alpha_{\text{kolektor}} = 3,003 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{347,7} = 0,0028/\text{K}$

Rayleigh number untuk kaca penutup satu dengan kaca penutup dua:

$$Ra_{c1-c2} = \frac{g\beta\Delta TL^3}{\nu_{\text{kolektor}}\alpha_{\text{kolektor}}}$$

$$Ra_{c1-c2} = \frac{9,81 \cdot 0,028 \cdot (371,4 - 324)(0,5)^3}{2,09 \cdot 10^{-5} \cdot 3,003 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 266188064,3$$

Nusselt number untuk kaca penutup satu dengan kaca penutup dua:

$$Nu_{c1-c2} = 0,27 \cdot 266188064,3^{1/4} = 34,48$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi kaca penutup satu dengan kaca penutup dua

$$h_{c1-c2} = \frac{Nu \cdot k_c}{L}$$

$$h_{c1-c2} = \frac{34,48 \cdot 0,03 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}{0,5} = 2,069 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

- **Analisa Radiasi Antara Kaca Penutup Satu dengan Kaca Penutup Dua**

$$h_{r_{c1-c2}} = \varepsilon\sigma(T_c + T_{abs})(T_c^2 + T_{abs}^2)$$

$$h_{r_{c1-c2}} = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}$$

$$(371,4 + 324)(371,4^2 + 324^2)$$

$$= 7,185 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$



Hambatan total pada kaca penutup satu dengan kaca penutup dua:

$$R_{c1-c2} = \frac{1}{h_{c-abs} + h_{r_{c-abs}}} = \frac{1}{2,069 + 7,185}$$

$$= 0,101 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

- **Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup Dua dengan Plat Absorber**
- **Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup Dua dengan Plat Absorber**

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 371,85 K adalah  $v_{\text{kolektor}} = 2,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\alpha_{\text{kolektor}} = 3,38 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{371,85} = 0,00269/\text{K}$

Rayleigh number untuk kaca penutup dua dengan plat absorber:

$$Ra_{c2-pa} = \frac{g\beta\Delta TL^3}{v_{\text{kolektor}}\alpha_{\text{kolektor}}}$$

$$Ra_{c2-abs} = \frac{9,81 \cdot 0,0269 \cdot (99,3 - 98,4)(1,5)^3}{2,34 \cdot 10^{-5} \cdot 3,38 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 3738938,08$$

Nusselt number untuk kaca penutup dua dengan plat absorber:

$$Nu_{c2-abs} = 0,27 \cdot 3738938,08^{1/4} = 11,8$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca penutup dua dan plat absorber

$$h_{c2-abs} = \frac{Nu \cdot k_{c2}}{L}$$

$$h_{c2-abs} = \frac{11,87 \cdot 0,03}{0,03} = 11,87 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

- **Analisa Radiasi Antara Kaca Penutup Dua dengan Plat Absorber**

$$h_{r_{c2-abs}} = \varepsilon\sigma(T_{c2} + T_{abs})(T_{c2}^2 + T_{abs}^2)$$

$$\begin{aligned}
 h_{rc2-abs} &= 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \\
 &\quad (372,3 + 371,4)(372,3^2 + 371,4) \\
 &= 10,49 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}
 \end{aligned}$$

Hambatan total pada kaca penutup dua dengan plat absorber:

$$\begin{aligned}
 R_{c2-abs} &= \frac{1}{h_{c2-abs} + h_{rc2-abs}} = \frac{1}{11,87 + 10,49} \\
 &= 0,044 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}
 \end{aligned}$$

➤ **Analisa Perpindahan Panas Antara Kaca Penutup Dua dengan Pipa**

• **Analisa Konveksi Antara Kaca Penutup Dua dengan Pipa**

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 350,3 K adalah  $v_{\text{kolektor}} = 2,118 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  ;  $\alpha_{\text{kolektor}} = 3,004 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{350,3} = 0,00285/\text{K}$  ; 0,698

Rayleigh number untuk kaca penutup dua dengan pipa:

$$\begin{aligned}
 Ra_{c2-p} &= \frac{g\beta\Delta TD^3}{v_{\text{kolektor}}\alpha_{\text{kolektor}}} \\
 Ra_{c2-p} &= \frac{9,81 \cdot 0,00285 \cdot (98,4 - 56,2)(1,5)^3}{2,118 \cdot 10^{-5} \cdot 3,004 \cdot 10^{-5}} \\
 &= 712,856
 \end{aligned}$$

Nusselt number untuk kaca penutup dua dengan pipa:

$$\begin{aligned}
 Nu_{c2-p} &= \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_p^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \\
 &= \left\{ 0,60 + \frac{0,387 \cdot 712,856^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{0,698} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = 2,361
 \end{aligned}$$

Koefisien konveksi antara kaca penutup dua dengan pipa:

$$h_{c2-p} = \frac{Nu \cdot k_c}{L} = \frac{2,361 \cdot 0,028}{0,0073} = 9,057 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

- **Analisa Radiasi Kaca Penutup Dua dengan Pipa**

$$\begin{aligned} h_{r_{c2-p}} &= \varepsilon \sigma (T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2) \\ h_{r_{c2-p}} &= 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} (329,2 + 371,4) \\ &\quad (329,2^2 + 371,4^2) = 8,805 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \end{aligned}$$

- **Analisa Perpindahan Panas yang Melewati Fin**

Efisiensi untuk satu fin:

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b}$$

Dimana

$$\begin{aligned} q_f &= \sqrt{hPkA_c\theta_b} \frac{\sin mL + \frac{h}{km} \cosh mL}{\cosh mL + \frac{h}{km} \sinh mL} \\ &= \sqrt{9,057 \cdot 0,09 \cdot 53 \cdot 2,65 \cdot 38,2} \\ &\quad \frac{\sin 37,61 + \frac{9,057}{53 \cdot 25,07} \cosh 37,61}{\cosh 37,61 + \frac{9,057}{53 \cdot 25,07} \sinh 37,61} \\ &= 0,00365 \text{ W} \end{aligned}$$

Sehingga

$$\eta_f = \frac{0,00365}{9,057 \cdot 0,00053 \cdot 38,2} = 0,019$$

Efisiensi total dari fin:

$$\begin{aligned} \eta_o &= 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \\ &= 1 - \frac{100 \cdot 0,00053}{0,43984} (1 - 0,019) = 0,881 \end{aligned}$$

Hambatan total antara kaca penutup dua dengan pipa:

$$R_{c-p} = \frac{1}{\eta_o h_{c2-p} + h_{r_{c2-p}}} = \frac{1}{0,881 \cdot 9,057 + 8,805}$$

$$= 0,081 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

➤ **Analisa Perpindahan Panas Antara Pipa dengan Absorber**

• **Analisa Konveksi Antara Pipa dengan Absorber**

Dari tabel *thermophysical properties of gases at atmospheric pressure* didapat data-data properties udara pada temperatur 350,75 K adalah  $v_{\text{kolektor}} = 2,122 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  ;  $\alpha_{\text{kolektor}} = 3,05 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$  ;  $\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{350,75} = 0,0028/\text{K}$  ; 0,698

Rayleigh number untuk absorber dengan pipa:

$$Ra_{abs-p} = \frac{g\beta\Delta TD^3}{v_{\text{kolektor}}\alpha_{\text{kolektor}}}$$

$$Ra_{abs-p} = \frac{9,81 \cdot 0,00505 \cdot (98,4 - 56,2)(1,5)^3}{2,122 \cdot 10^{-5} \cdot 3,05 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 723,813$$

Nusselt number untuk absorber dengan pipa:

$$Nu_{abs-p} = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 Ra_D^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$= \left\{ 0,60 + \frac{0,387 \cdot 723,813^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{0,698} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 = 2,368$$

Koefisien konveksi antara absorber dengan pipa:

$$h_{abs-p} = \frac{Nu \cdot k_c}{L} = \frac{2,368 \cdot 0,028}{0,0073} = 9,685 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

- **Analisa Radiasi Pipa dengan Absorber**

$$\begin{aligned}
 h_{r_{abs-p}} &= \varepsilon \sigma (T_p + T_{abs})(T_p^2 + T_{abs}^2) \\
 h_{r_{abs-p}} &= 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \\
 &\quad (371,4 + 329,2)(371,4^2 + 329,2^2) \\
 &= 8,841 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}
 \end{aligned}$$

- **Analisa Perpindahan Panas yang Melewati Fin**

Efisiensi untuk satu fin:

$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{q_f}{hA_f\theta_b}$$

Dimana

$$\begin{aligned}
 q_f &= \sqrt{hPkA_c\theta_b} \frac{\sin mL + \frac{h}{km} \cosh mL}{\cosh mL + \frac{h}{km} \sinh mL} \\
 &= \sqrt{9,685 \cdot 0,09 \cdot 53 \cdot 2,65 \cdot 38,2} \\
 &\quad \frac{\sin 37,6 + \frac{9,384}{53 \cdot 15,52} \cosh 37,6}{\cosh 37,6 + \frac{9,384}{53 \cdot 15,52} \sinh 37,6} = 0,0036 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\eta_f = \frac{0,0036}{9,384 \cdot 0,00053 \cdot 50,8} = 0,019$$

Efisiensi total dari fin:

$$\begin{aligned}
 \eta_o &= 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \\
 &= 1 - \frac{100 \cdot 0,00053}{0,43984} (1 - 0,019) = 0,881
 \end{aligned}$$

Hambatan total antara absorber dengan pipa:

$$\begin{aligned}
 R_{abs-p} &= \frac{1}{\eta_o h_{abs-p} + h_{r_{abs-p}}} \\
 &= \frac{1}{0,881 \cdot 9,685 + 8,841} = 0,08 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}
 \end{aligned}$$

➤ **Analisa Perpindahan Panas Antara Pipa dengan Air**

• **Analisa Konveksi Pipa Dengan Air**

Dari tabel *properties of water* didapat data-data properties air pada temperatur 310,35 K adalah  $\rho_{\text{air}} = 993,06 \text{ kg/m}^3$ ;  $\mu_{\text{air}} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ Ns/m}^2$ ;  $\text{Pr} = 4,76$

Reynold number untuk pipa dengan air:

$$Re_{p-f} = \frac{\rho_{\text{air}} \cdot V_{\text{air}} \cdot D}{\mu_{\text{air}}}$$

$$Re_{p-f} = \frac{993,06 \cdot 1,527 \cdot 0,015}{7 \cdot 10^{-5}} = 332942,8$$

Nusselt number untuk pipa dengan air:

$$Nu_{p-f} = 0,023 Re_D^{\frac{4}{5}} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu_{p-f} = 0,023 \cdot 332942,8^{\frac{4}{5}} \cdot 4,76^{\frac{1}{3}} = 159,193$$

Sehingga dapat dicari koefisien perpindahan panas konveksi antara pipa dan air

$$h_{p-f} = \frac{Nu \cdot k}{D}$$

$$h_{p-f} = \frac{159,193 \cdot 0,628}{0,015} = 6664,895 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Hambatan total untuk pipa dengan air:

$$R_{p-f} = \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k_p} + \frac{1}{h_{p-f}} = \frac{\ln\left(\frac{0,0154}{0,015}\right)}{2\pi \cdot 42,79} + \frac{1}{6664,895}$$

$$= 0,0014 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

➤ **Analisa Perpindahan Panas pada Bagian Bawah Kolektor**

Pada bagian bawah kolektor terdiri dari plat absorber, glass woll dan triplek

$$R_b = \frac{L_{\text{abs}}}{K_{\text{abs}}} + \frac{L_{\text{gw}}}{K_{\text{gw}}} + \frac{L_t}{K_t}$$

$$R_b = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{111,9695} + \frac{100 \cdot 10^{-3}}{0,037} + \frac{4 \cdot 10^{-3}}{0,017} = 2,272 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

➤ **Analisa Koefisien Kehilangan Panas Total pada Kolektor**

$$U_L = \frac{1}{R_{c1-\infty} + R_{c1-c2} + \left( \frac{R_{c2-abs} + (R_{c2-p} + R_{p-f})}{R_{c2-abs} \cdot (R_{c2-p} + R_{p-f})} \right) + R_b}$$

$$U_L = \frac{1}{4,5261 + 0,368} = 4,8929 \frac{W}{m^2 K}$$

➤ **Perhitungan Faktor Pelepasan Panas ( $FR$ )**

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Panjang satu segmen pipa serpentine ( $L$ )  | : 0,4 m                      |
| Jarak antar pipa ( $W$ )                     | : 0,12 m                     |
| Jumlah segmen pipa ( $N$ )                   | : 10                         |
| Tebal pelat <i>absorber</i> ( $\delta$ )     | : 0,0002 m                   |
| Diameter pipa ( $D$ )                        | : 0,015 m                    |
| Konduktivitas pelat <i>absorber</i> ( $kp$ ) | : 126,04 W/mK                |
| Koefisien Perpindahan Panas Total ( $U_L$ )  | : 4,8929 W/m <sup>2</sup> K  |
| Laju aliran massa air ( $\dot{m}$ )          | : 0,027 m <sup>3</sup> /s    |
| Kalor spesifik air ( $Cp$ )                  | : 4178,55 J/kgK              |
| Koefisien konveksi pipa-air ( $h_f$ )        | : 6673,02 W/m <sup>2</sup> K |

$$n = (W - D) \sqrt{\frac{U_L}{k\delta}}$$

$$= (0,12 \text{ m} - 0,015 \text{ m}) \sqrt{\frac{4,8929 \text{ W/m}^2\text{K}}{(126,04 \text{ W/mK})(0,0002 \text{ m})}}$$

$$= 1,463$$

$$K = \frac{kp \cdot \delta \cdot n}{(W - D) \sinh n}$$

$$= \frac{(126,04 \text{ W/mK})(0,0002 \text{ m})(1,463)}{(0,12 \text{ m} - 0,015 \text{ m}) \sinh(1,463)}$$

$$= 0,172 \text{ W/mK}$$

$$\gamma = -2 \cosh n - \frac{DU_L}{K}$$

$$= -2 \cosh 1,463 - \frac{(0,015 \text{ m})(4,8929 \text{ W/m}^2\text{K})}{0,172 \text{ W/mK}}$$

$$= -4,977$$

$$R = \frac{1}{\pi D h_f}$$

$$= \frac{1}{(3,14)(0,015 \text{ m})(6673,02 \text{ W/m}^2\text{K})}$$

$$= 0,0032 \text{ mK/W}$$

$$F_1 = \frac{NKL}{U_L A_c} \frac{KR(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - KR}{[KR(1 + \gamma) - 1]^2 - (KR)^2}$$

$$= \frac{(10)(0,172 \text{ W/mK})(0,4 \text{ m})}{\left(4,8929 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}\right)(0,75 \text{ m}^2)}$$

$$= \frac{((0,172 \text{ W / mK})(0,0032) (1 - 4,977)^2 - 1 + 4,977 - (0,172 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}))/((0,172 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W})(1 - 4,977) - 1)^2 - ((0,172 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}))^2)}{(0,172 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W})}$$

$$= 0,7433$$

$$F_2 = \frac{1}{KR(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - KR}$$

$$= 1/((0,172 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}) (1 - 4,977)^2 - 1 + 4,977 - (0,172 \text{ W / mK})(0,0032 \text{ mK / W}) )$$

$$= 0,2509$$

$$F_3 = \frac{KL}{\dot{m} C_p} \frac{KR(1 + \gamma)^2 - 1 - \gamma - KR}{[KR(1 + \gamma) - 1]^2 - (KR)^2}$$

$$= \frac{(0,172 \text{ W/mK})(0,4 \text{ m})}{\left(0,027 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \left(4178,55 \frac{\text{J}}{\text{kgK}}\right)}$$



$$\begin{aligned}
& ((0,172 \text{ W} / \text{mK})(0,0032 \text{ mK} / \text{W}) (1 - 4,977)^2 \\
& \quad - 1 + 4,977 - (0,172 \text{ W} \\
& \quad / \text{mK})(0,0032 \text{ mK} \\
& \quad / \text{W})) / ((0,172 \text{ W} \\
& \quad / \text{mK})(0,0032 \text{ mK} / \text{W})(1 \\
& \quad - 4,977) - 1)^2 - ((0,172 \text{ W} \\
& \quad / \text{mK})(0,0032 \text{ mK} / \text{W}))^2) \\
& = 2,4 \times 10^{-3}
\end{aligned}$$

$$F_4 = \sqrt{\frac{1 - F_2^2}{F_2^2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,2509^2}{0,2509^2}} = 3,8576$$

$$\begin{aligned}
F_5 &= \frac{1}{F_2} + F_4 - 1 \\
&= \frac{1}{0,2509} + 3,8576 - 1 = 6,8428
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_6 &= 1 - \frac{1}{F_2} + F_4 = 1 - \frac{1}{0,2509} + 3,8576 \\
&= 0,8725
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_R &= \frac{F_1}{2F_3} \left\{ 1 + \left[ \frac{2F_4F_5}{F_6 \exp(-2F_3\sqrt{1 - F_2^2}) + F_5} - \frac{1}{F_2} - F_4 \right] \right\} \\
&= \frac{0,7433}{2(2,4 \times 10^{-3})} \left\{ 1 \right. \\
&\quad + \left[ \frac{2(3,8576)(6,8428)}{0,8725 \exp(-2(2,4 \times 10^{-3})\sqrt{1 - 0,2509^2}) + 6,8428} \right. \\
&\quad \left. \left. - \frac{1}{0,2509} - 3,8576 \right] \right\} = 0,7588
\end{aligned}$$

➤ **Analisa Energi**

Pada penelitian ini memperhitungkan energi solar kolektor ( $Q_U$ )solar kolektor dan energi solar water heater ( $Q_U$ )solar water heater

$$c) \quad Q_{u \text{ Solar Kolektor}} = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_\infty)]$$

$$\begin{aligned} &= 0,75.0,7588[655,902 \\ &\quad - 7,38(36,9 - 35,5)] \\ &= 367,95 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d) \quad Q_{u \text{ solar water heater}} &= \dot{m} c_p (T_o - T_i) \\ &= 0,027.4179 (37,8 - 36,9) \\ &= 276,66 \text{ W} \end{aligned}$$

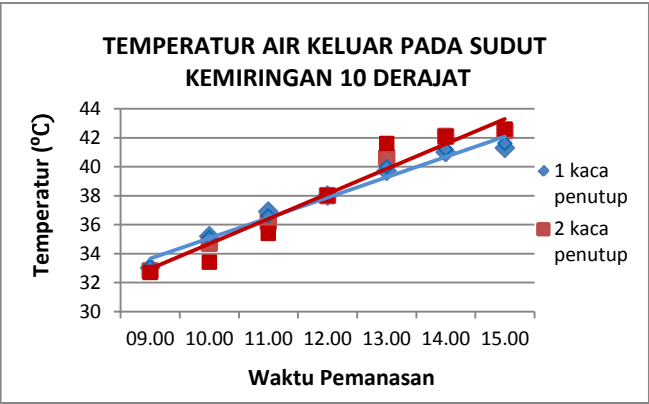
➤ **Analisa Efisiensi**

Pada perhitungan ini memperhitungkan efisiensi solar kolektor ( $\eta$ )Solar kolektor. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

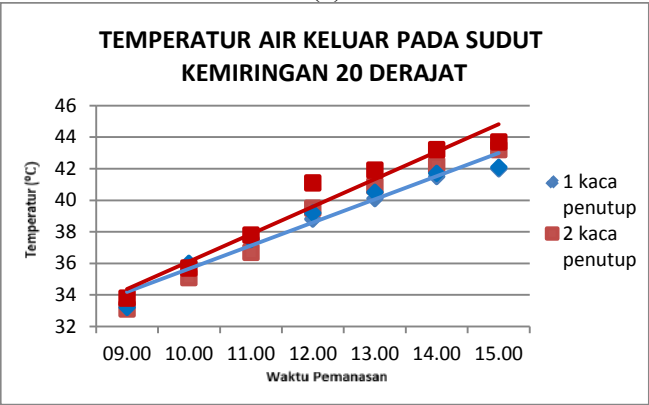
$$\begin{aligned} \eta_{\text{solar kolektor}} &= \frac{Q_U \text{ solar kolektor}}{A_c \cdot I_T} \\ &= \frac{367,95}{0,75.810,5} 100\% = 56,692\% \end{aligned}$$

4.3.Pembahasan Grafik

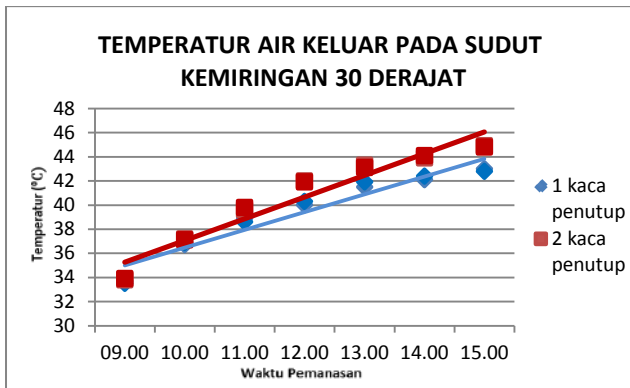
4.3.1 Grafik Temperatur Air Keluar



(a)



(b)



(c)

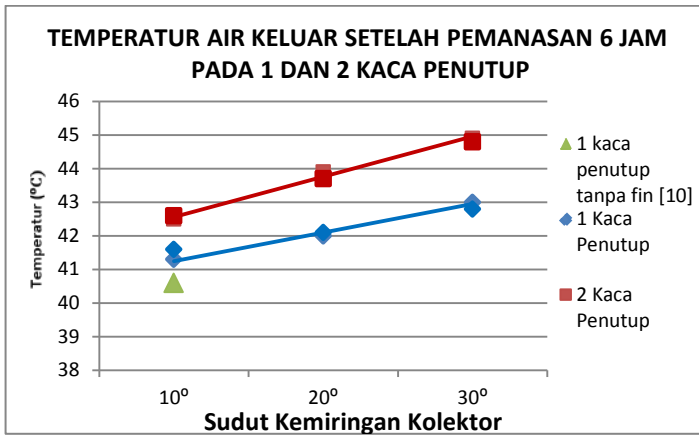
Gambar 4. 1 Grafik Temperatur air keluar pada sudut kemiringan (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat

Pada gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa kolektor divariasi sudut kemiringan 10 derajat, 20 derajat, 30 derajat serta divariasikan jumlah kaca penutup yaitu satu dan dua kaca penutup. Untuk masing-masing variasi sudut kemiringan, pada dua kaca penutup temperatur air keluar lebih tinggi daripada temperatur air keluar dibandingkan dengan satu kaca penutup. Dapat dilihat pada grafik yang sama-sama 10 derajat nilai temperatur air keluar satu kaca penutup sebesar 41,3 °C dan nilai temperatur air keluar dua kaca penutup sebesar 42,3 °C, untuk 20 derajat nilai temperatur air keluar satu kaca penutup sebesar 42,1 °C dan nilai temperatur air keluar dua kaca penutup sebesar 43,7 °C, untuk 30 derajat nilai temperatur air keluar satu kaca penutup sebesar 42,8 °C dan nilai temperatur air keluar dua kaca penutup sebesar 44,8 °C.

Hal ini terjadi karena pada dua kaca penutup efek rumah kaca lebih kecil daripada satu kaca penutup sehingga temperatur di dalam kolektor lebih tinggi dibandingkan satu kaca penutup. Radiasi dari matahari yang dipantulkan kembali oleh pelat absorber lebih sedikit pada dua kaca penutup dibandingkan satu kaca penutup. Untuk dua kaca penutup temperatur didalam

kolektor lebih tinggi akibatnya proses untuk memanaskan air lebih cepat dibandingkan satu kaca penutup.

#### 4.3.2 Grafik Temperatur Air Keluar Pada 1 Dan 2 Kaca Penutup



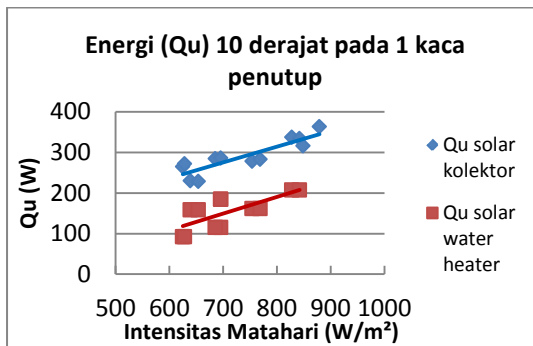
Gambar 4. 2 Grafik Temperatur air keluar pada 1 kaca tanpa fin, 1 kaca dengan fin, dan 2 kaca penutup dengan fin

Dari gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa temperatur air keluar pada sudut kemiringan 10 derajat tanpa menggunakan fin [10] sebesar 40,6 °C sedangkan dengan penambahan fin sama – sama satu kaca penutup menghasilkan temperatur air keluar sebesar 41,3 °C. Saat kolektor surya ditambah kaca penutup temperatur air keluarnya paling tinggi yaitu sebesar 42,6 °C dibandingkan satu kaca penutup dengan penambahan fin dan tanpa penambahan fin pada pipa tembaga. Untuk kenaikan sudut kemiringan kolektor berbanding lurus dengan temperatur air keluar kolektor, semakin besar sudut kemiringan kolektor dari 10 derajat, 20 derajat, dan 30 derajat maka temperatur air keluar kolektor semakin tinggi. Temperatur air keluar pada 1 kaca penutup dengan sudut kemiringan 10 derajat, 20 derajat, 30 derajat secara berurutan nilainya adalah 41,3 °C, 42,1 °C, dan 42,8 °C. Sedangkan temperatur air keluar pada 2 kaca penutup

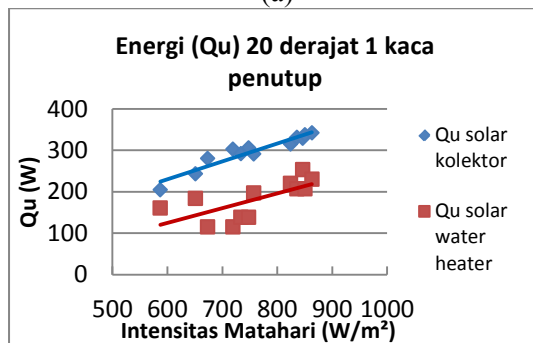
dengan sudut kemiringan 10 derajat, 20 derajat, 30 derajat secara berurutan nilainya adalah 42,6 °C, 43,7 °C, dan 44,8 °C.

Hal ini terjadi karena pada 1 kaca penutup dengan fin, luasan permukaan pipa diperbesar sehingga mampu menyerap panas lebih banyak daripada 1 kaca penutup tanpa fin. Sedangkan untuk penambahan jumlah kaca penutup mengakibatkan kehilangan panas ke bagian atas semakin kecil karena efek rumah kaca lebih kecil, sehingga temperatur didalam kolektor semakin tinggi.

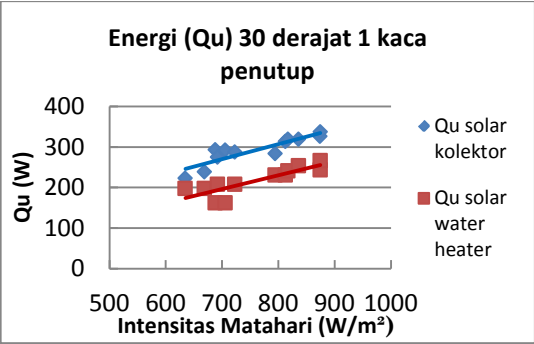
#### 4.3.3 Grafik Energi Fungsi Intensitas



(a)

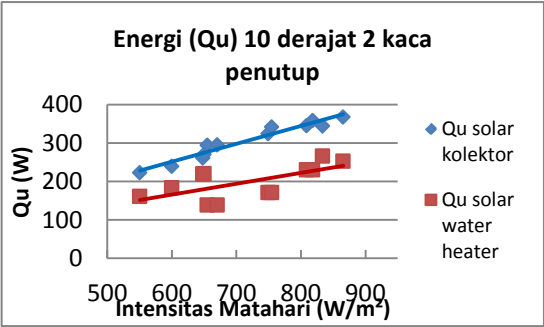


(b)

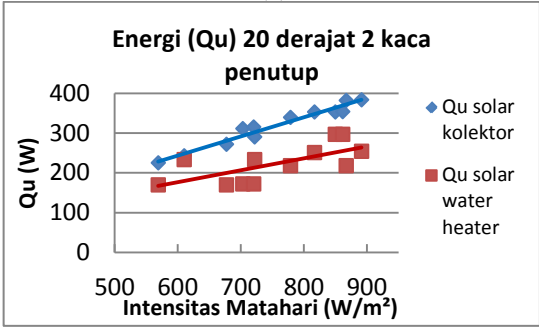


(c)

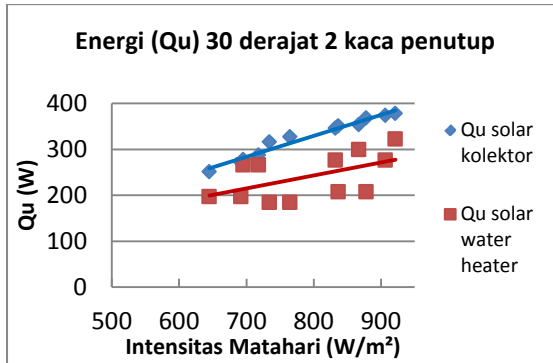
Gambar 4. 3 Grafik Energi (Qu) untuk 1 kaca penutup (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat



(a)

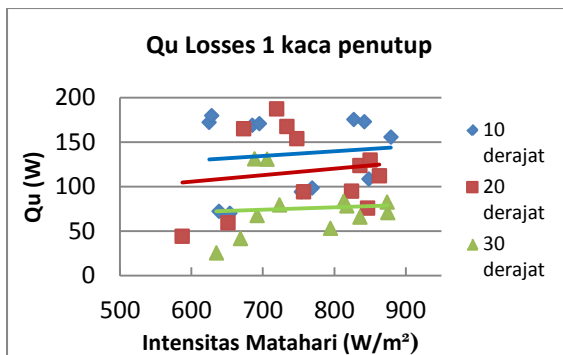


(b)



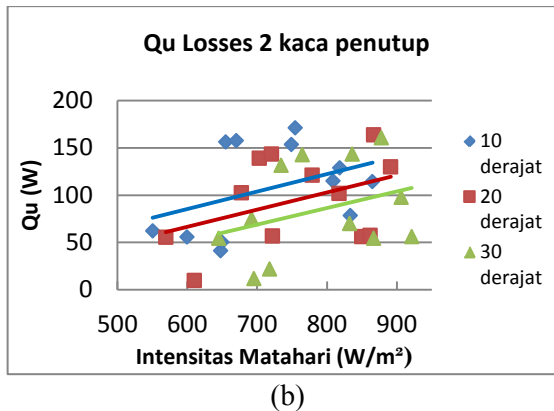
(c)

Gambar 4.4 Grafik Energi ( $Q_u$ ) untuk 2 kaca penutup, (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat



(a)

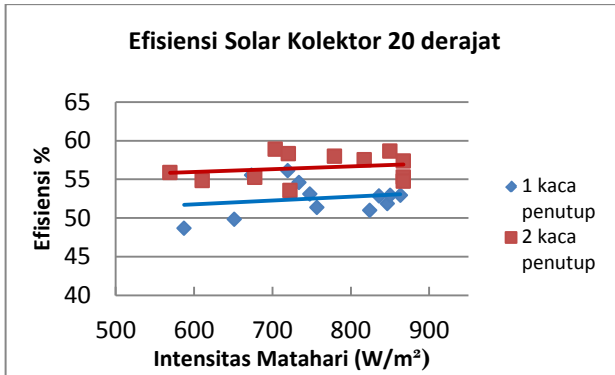




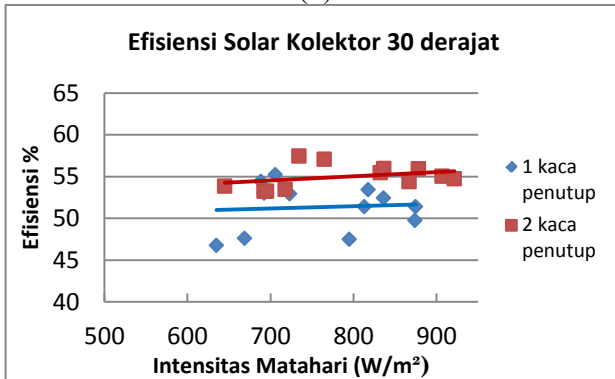
Gambar 4.5 Grafik Energi Losses variasi kaca penutup, (a) 1 kaca penutup, (b) 2 kaca penutup

Dari gambar 4.3 dan 4.4 diatas dapat kita lihat bahwa dari semua variasi sudut kemiringan kolektor dan jumlah kaca penutup, nilai  $Q_U$  solar kolektor lebih tinggi daripada nilai  $Q_U$  solar water heater. Nilai intensitas berbanding lurus dengan nilai  $Q_U$ , semakin besar nilai intensitas matahari maka semakin tinggi nilai  $Q_U$ . Pada sudut kemiringan 10 derajat nilai  $Q_U$  solar kolektor paling besar adalah  $367,92 \text{ W/m}^2$  dengan intensitas matahari  $865,30 \text{ W/m}^2$ , nilai  $Q_U$  solar water heater paling besar adalah  $253,6 \text{ W/m}^2$  dengan intensitas matahari  $865,30 \text{ W/m}^2$ . Pada sudut kemiringan 20 derajat nilai  $Q_U$  solar kolektor paling besar adalah  $383,39 \text{ W/m}^2$  dengan intensitas matahari  $891,35 \text{ W/m}^2$ , nilai  $Q_U$  solar water heater paling besar adalah  $296,36 \text{ W/m}^2$  dengan intensitas matahari  $891,35 \text{ W/m}^2$ . Pada sudut kemiringan 30 derajat nilai  $Q_U$  solar kolektor paling besar adalah  $378,22 \text{ W/m}^2$  dengan intensitas matahari  $717,84 \text{ W/m}^2$ , nilai  $Q_U$  solar water heater paling besar adalah  $322,26 \text{ W/m}^2$  dengan intensitas matahari  $717,84 \text{ W/m}^2$ . Perbedaan nilai antara  $Q_U$  solar kolektor dengan  $Q_U$  solar water heater ini disebabkan karena untuk  $Q_U$  solar kolektor banyak faktor yang mempengaruhi dalam perhitungannya, seperti  $U_L$ ,  $F_R$ ,  $T_\infty$ . Sesuai dengan rumus  $Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_i - T_\infty)]$ . Sedangkan untuk  $Q_U$  solar water





(b)



(c)

Gambar 4.6 Grafik Efisiensi Solar Kolektor pada sudut kemiringan (a) 10 derajat, (b) 20 derajat, (c) 30 derajat

Pada gambar 4.6 diatas terlihat bahwa efisiensi solar kolektor cenderung konstan seiring bertambahnya nilai intensitas matahari. Untuk efisiensi 2 kaca penutup nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan 1 kaca penutup. Pada sudut kemiringan 10°, efisiensi rata – rata solar kolektor 2 kaca penutup yaitu 57,13%, 5,08% lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata 1 kaca penutup yaitu 52,05%. Pada sudut kemiringan 20°, efisiensi rata – rata solar kolektor 2 kaca penutup yaitu 56,52%, 3,96% lebih baik

dibandingkan efisiensi rata – rata 1 kaca penutup yaitu 52,56%. Pada sudut kemiringan  $30^\circ$ , efisiensi rata – rata solar kolektor 2 kaca penutup yaitu 54,99%, 3,66% lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata 1 kaca penutup yaitu 51,33%. Dari semua sudut kemiringan, efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup 51,98%, dan untuk efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 56,21%. Sehingga dapat disimpulkan efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 4,23% lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KASIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan dan analisa grafik yang telah dibuat pada bab-bab sebelumnya maka selanjutnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan penambahan fin, temperatur air keluar lebih tinggi dibandingkan tanpa fin. Tanpa fin temperatur air keluar sebesar  $40,6^{\circ}\text{C}$  dengan fin temperatur air keluar sebesar  $41,3^{\circ}$ . Secara keseluruhan dari sudut kemiringan kolektor, temperatur air keluar pada 2 kaca penutup lebih tinggi daripada 1 kaca penutup. Satu kaca penutup temperatur tertinggi sebesar  $42,8^{\circ}\text{C}$  dengan intensitas matahari ( $I_T$ ) rata-rata  $764,71\text{ W/m}^2$ , sedangkan untuk 2 kaca penutup temperatur tertinggi sebesar  $44,8^{\circ}\text{C}$  dengan intensitas matahari ( $I_T$ ) rata-rata  $790,85\text{ W/m}^2$ . Hal ini dikarenakan pada 2 kaca penutup efek rumah kaca lebih kecil daripada 1 kaca penutup sehingga temperatur di dalam kolektor 2 kaca penutup lebih tinggi.
2. Energi solar kolektor yang tertinggi adalah pada sudut kemiringan 20 derajat dan dua kaca penutup yaitu sebesar  $383,39\text{ W}$  dengan intensitas matahari ( $I_T$ )  $891,35\text{ W/m}^2$ . Dan untuk energi solar water heater yang tertinggi adalah pada sudut kemiringan 30 derajat dan dua kaca penutup yaitu sebesar  $322,26\text{ W/m}^2$  dengan intensitas matahari ( $I_T$ )  $717,84\text{ W/m}^2$ . Energi ( $Q_u$ ) solar kolektor lebih besar dibandingkan energi ( $Q_u$ ) solar water heater, hal ini dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi dalam perhitungannya, seperti  $F_R$ ,  $U_L$ ,  $T_{\infty}$ . Sedangkan untuk energi ( $Q_u$ ) solar water heater hanya memperhitungkan nilai temperatur air yang keluar dan masuk kolektor.
3. Dari semua sudut kemiringan, efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup  $51,98\%$ , dan untuk efisiensi

rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 56,21%. Sehingga dapat disimpulkan efisiensi rata – rata solar kolektor dua kaca penutup 4,23% lebih baik dibandingkan efisiensi rata – rata solar kolektor satu kaca penutup.

## **5.2 Saran**

1. Untuk mendapatkan temperatur keluar yang tinggi dapat dilakukan dengan cara memperpanjang saluran pipa didalam kolektor dan memperluas luasan kolektor.
2. Alat ukur yang digunakan hendaknya memiliki tingkat akurasi ketelitian yang lebih akurat. Sehingga data yang didapat lebih akurat.
3. Studi lebih lanjut dengan cara memberi warna hitam pada pipa, yang diharapkan mampu memperbesar perpindahan panas.

# LAMPPIRAN



**SATU KACA PENUTUP**

## Data percobaan

**Sudut Kemiringan 10°**

| Jam   | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | I (W/m <sup>2</sup> ) |     | V <sub>∞</sub> (m/s) |     | Tk (°C) |      | T <sub>∞1</sub> (°C) |    | T <sub>∞2</sub> (°C) |       | Tabs (°C) |       | TP (°C) |      | TT (°C) |      | Ti (°C) |      | To (°C) |      | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|-----------------------|--------|-----------------------|-----|----------------------|-----|---------|------|----------------------|----|----------------------|-------|-----------|-------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|-----------------------|
| 09.00 | 575.163               | 562.09 | 4.4                   | 4.3 | 0.3                  | 2.3 | 56.6    | 59.7 | 36                   | 36 | 81.8                 | 83.4  | 84.8      | 94.4  | 40.3    | 53.1 | 35.8    | 35.4 | 32.6    | 32.7 | 33      | 33.1 | 0.0002778             |
| 10.00 | 627.451               | 640.52 | 4.8                   | 4.9 | 1.5                  | 1   | 61.2    | 65.7 | 36.8                 | 36 | 88.1                 | 90.3  | 90.1      | 101.8 | 43.8    | 56.4 | 35.6    | 37.5 | 34.7    | 34.6 | 35.2    | 35.1 | 0.0002778             |
| 11.00 | 771.242               | 784.31 | 5.9                   | 6   | 0.3                  | 2   | 70.3    | 71.8 | 36                   | 36 | 96.8                 | 100   | 103.5     | 104.9 | 48.6    | 58   | 36.9    | 36.8 | 36.2    | 35.9 | 36.9    | 36.6 | 0.0002778             |
| 12.00 | 823.529               | 797.39 | 6.3                   | 6.1 | 0.1                  | 3   | 73.6    | 74.4 | 37.5                 | 34 | 100.4                | 103.9 | 105.7     | 106.8 | 49.6    | 58.4 | 37.9    | 37   | 37.1    | 37.2 | 38      | 38.1 | 0.0002778             |
| 13.00 | 718.954               | 732.03 | 5.5                   | 5.6 | 1.4                  | 1.4 | 66.1    | 68.2 | 34                   | 34 | 80                   | 87.4  | 96        | 98.8  | 47.2    | 54.5 | 37.1    | 36   | 38.9    | 39.2 | 39.7    | 40   | 0.0002778             |
| 14.00 | 614.379               | 627.45 | 4.7                   | 4.8 | 0.9                  | 2   | 61.1    | 63.8 | 34                   | 34 | 74.9                 | 78.7  | 86.7      | 88.7  | 48.3    | 56   | 35.6    | 36.8 | 40.3    | 40.5 | 41      | 41.2 | 0.0002778             |
| 15.00 | 562.092               | 575.16 | 4.3                   | 4.4 | 1.8                  | 2.2 | 51.9    | 52.6 | 33                   | 33 | 56.4                 | 60.6  | 60.3      | 66.3  | 46.2    | 49.2 | 35.8    | 34.9 | 40.8    | 41.1 | 41.3    | 41.6 | 0.0002778             |

**Sudut Kemiringan 20°**

| Jam   | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | I (W/m <sup>2</sup> ) |     | V <sub>∞</sub> (m/s) |     | Tk (°C) |      | T <sub>∞1</sub> (°C) |    | T <sub>∞2</sub> (°C) |      | Tabs (°C) |       | TP (°C) |      | TT (°C) |      | Ti (°C) |      | To (°C) |      | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|-----------------------|--------|-----------------------|-----|----------------------|-----|---------|------|----------------------|----|----------------------|------|-----------|-------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|-----------------------|
| 09.00 | 601.307               | 562.09 | 4.6                   | 4.3 | 0.5                  | 0.5 | 58.3    | 58.6 | 35                   | 34 | 83.2                 | 85.1 | 87.4      | 90.5  | 41.9    | 42.3 | 35.6    | 34.7 | 32.9    | 32.7 | 33.4    | 33.2 | 0.0002778             |
| 10.00 | 640.523               | 640.52 | 4.9                   | 4.9 | 0.8                  | 1.4 | 63.6    | 64.3 | 36                   | 35 | 90.4                 | 91.6 | 92.7      | 93.8  | 47.2    | 48   | 37.2    | 35.2 | 35.2    | 35.4 | 35.8    | 36   | 0.0002778             |
| 11.00 | 758.17                | 745.1  | 5.8                   | 5.7 | 1.1                  | 0.6 | 73.8    | 73.5 | 36                   | 35 | 97.8                 | 98.2 | 105.1     | 104.1 | 53.7    | 52.1 | 36.6    | 35.5 | 36.7    | 36.6 | 37.6    | 37.5 | 0.0002778             |
| 12.00 | 784.314               | 771.24 | 6                     | 5.9 | 1                    | 1.1 | 74.1    | 75   | 37                   | 36 | 102.6                | 104  | 106.8     | 106.4 | 55.4    | 56.5 | 37.1    | 36   | 37.8    | 38.1 | 38.8    | 39.2 | 0.0002778             |
| 13.00 | 705.882               | 758.17 | 5.4                   | 5.8 | 1.5                  | 1   | 68.9    | 69.1 | 37                   | 36 | 90.3                 | 92.7 | 99.3      | 100.6 | 52.6    | 54.6 | 36.8    | 34.1 | 39.2    | 39.5 | 40.1    | 40.5 | 0.0002778             |
| 14.00 | 614.379               | 562.09 | 4.7                   | 4.3 | 0.7                  | 1.7 | 65.3    | 64.8 | 36                   | 35 | 84.5                 | 82.3 | 90.9      | 91.7  | 48.9    | 46.8 | 35.9    | 34.8 | 40.7    | 41   | 41.5    | 41.7 | 0.0002778             |
| 15.00 | 535.948               | 549.02 | 4.1                   | 4.2 | 1.2                  | 1.5 | 56.8    | 55.4 | 34                   | 34 | 70.7                 | 68.5 | 75.3      | 72.9  | 47      | 45.8 | 34.6    | 34   | 41.4    | 41.5 | 42      | 42.1 | 0.0002778             |

**Sudut Kemiringan 30°**

| Jam   | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | I (W/m <sup>2</sup> ) |     | V <sub>∞</sub> (m/s) |     | Tk (°C) |      | T <sub>∞1</sub> (°C) |    | T <sub>∞2</sub> (°C) |       | Tabs (°C) |       | TP (°C) |      | TT (°C) |      | Ti (°C) |      | To (°C) |      | Q (m <sup>3</sup> /s) |
|-------|-----------------------|--------|-----------------------|-----|----------------------|-----|---------|------|----------------------|----|----------------------|-------|-----------|-------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|-----------------------|
| 09.00 | 549.02                | 562.09 | 4.2                   | 4.3 | 0.1                  | 0.6 | 60.8    | 61.4 | 35                   | 34 | 85.7                 | 86.3  | 89.6      | 91.7  | 43.5    | 44.6 | 37.8    | 36.8 | 33      | 32.8 | 33.7    | 33.5 | 0.0002778             |
| 10.00 | 614.379               | 588.24 | 4.7                   | 4.5 | 1.1                  | 2   | 67.3    | 66.9 | 35                   | 36 | 92.5                 | 92.2  | 95.9      | 95.2  | 50.4    | 48.9 | 38.9    | 36   | 35.8    | 36   | 36.7    | 36.9 | 0.0002778             |
| 11.00 | 732.026               | 718.95 | 5.6                   | 5.5 | 0.8                  | 1.3 | 75.1    | 74.5 | 34                   | 36 | 99.4                 | 98.6  | 107.7     | 105.3 | 59.3    | 58.7 | 40.2    | 37.4 | 37.8    | 37.6 | 38.9    | 38.6 | 0.0002778             |
| 12.00 | 784.314               | 784.31 | 6                     | 6   | 1.2                  | 1.6 | 75.3    | 75.8 | 34                   | 37 | 104.9                | 105.8 | 108.6     | 107.9 | 59.9    | 59.2 | 37      | 40   | 38.9    | 39.1 | 40      | 40.3 | 0.0002778             |
| 13.00 | 732.026               | 745.1  | 5.6                   | 5.7 | 1.8                  | 0.4 | 74      | 74.6 | 34                   | 37 | 97.1                 | 98.1  | 104.3     | 105.4 | 55.8    | 56.1 | 40.6    | 38.6 | 40.5    | 40.9 | 41.5    | 41.9 | 0.0002778             |
| 14.00 | 627.451               | 601.31 | 4.8                   | 4.6 | 0.7                  | 1.5 | 68.4    | 67.2 | 34                   | 35 | 92.3                 | 90.4  | 95.6      | 93.8  | 50.1    | 49.2 | 38.6    | 37.5 | 41.2    | 41.5 | 42.1    | 42.4 | 0.0002778             |
| 15.00 | 549.02                | 562.09 | 4.2                   | 4.3 | 0.9                  | 1.1 | 60.9    | 57.7 | 33                   | 34 | 83.6                 | 75.6  | 84.7      | 80.6  | 48.3    | 46.3 | 36.4    | 35   | 42.4    | 42.3 | 43      | 42.8 | 0.0002778             |

## Data Percobaan (*continued*)

| Sudut Kemiringan 10 <sup>o</sup> |                       |        |                       |      |                      |      |                     |       |                      |       |                      |        |                       |        |                     |       |                     |       |                     |       |                     |       |         |
|----------------------------------|-----------------------|--------|-----------------------|------|----------------------|------|---------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|--------|-----------------------|--------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------|
| Jam                              | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | I (W/m <sup>2</sup> ) |      | V <sub>∞</sub> (m/s) |      | T <sub>k</sub> (°C) |       | T <sub>∞1</sub> (°C) |       | T <sub>∞2</sub> (°C) |        | T <sub>abs</sub> (°C) |        | T <sub>P</sub> (°C) |       | T <sub>T</sub> (°C) |       | T <sub>i</sub> (°C) |       | T <sub>o</sub> (°C) |       | Q (m/s) |
| 09.00-10.00                      | 601.31                | 601.31 | 4.60                  | 4.60 | 0.90                 | 1.65 | 58.90               | 62.70 | 36.40                | 36.00 | 84.95                | 86.85  | 87.45                 | 98.10  | 42.05               | 54.75 | 35.70               | 36.45 | 33.65               | 33.65 | 34.10               | 34.10 | 0.00028 |
| 10.00-11.00                      | 699.35                | 712.42 | 5.35                  | 5.45 | 0.90                 | 1.50 | 65.75               | 68.75 | 36.40                | 36.00 | 92.45                | 95.15  | 96.80                 | 103.35 | 46.20               | 57.20 | 36.25               | 37.15 | 35.45               | 35.25 | 36.05               | 35.85 | 0.00028 |
| 11.00-12.00                      | 797.39                | 790.85 | 6.10                  | 6.05 | 0.20                 | 2.50 | 71.95               | 73.10 | 36.75                | 35.00 | 98.60                | 101.95 | 104.60                | 105.85 | 49.10               | 58.20 | 37.40               | 36.90 | 36.65               | 36.55 | 37.45               | 37.35 | 0.00028 |
| 12.00-13.00                      | 771.24                | 764.71 | 5.90                  | 5.85 | 0.75                 | 2.20 | 69.85               | 71.30 | 35.75                | 34.00 | 90.20                | 95.65  | 100.85                | 102.80 | 48.40               | 56.45 | 37.50               | 36.50 | 38.00               | 38.20 | 38.85               | 39.05 | 0.00028 |
| 13.00-14.00                      | 666.67                | 679.74 | 5.10                  | 5.20 | 1.15                 | 1.70 | 63.60               | 66.00 | 34.00                | 34.00 | 77.45                | 83.05  | 91.35                 | 93.75  | 47.75               | 55.25 | 36.35               | 36.40 | 39.60               | 39.85 | 40.35               | 40.60 | 0.00028 |
| 14.00-15.00                      | 588.24                | 601.31 | 4.50                  | 4.60 | 1.35                 | 2.10 | 56.50               | 58.20 | 33.50                | 33.50 | 65.65                | 69.65  | 73.50                 | 77.50  | 47.25               | 52.60 | 35.70               | 35.85 | 40.55               | 40.80 | 41.15               | 41.40 | 0.00028 |

| Sudut Kemiringan 20° |          |        |          |      |          |      |         |       |          |       |          |        |           |        |         |       |         |       |         |       |         |       |         |
|----------------------|----------|--------|----------|------|----------|------|---------|-------|----------|-------|----------|--------|-----------|--------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| Jam                  | I (W/m²) |        | I (W/m²) |      | V∞ (m/s) |      | Tk (°C) |       | T∞1 (°C) |       | T∞2 (°C) |        | Tabs (°C) |        | TP (°C) |       | TT (°C) |       | Ti (°C) |       | To (°C) |       | Q (m/s) |
| 09.00-10.00          | 620.92   | 601.31 | 4.75     | 4.60 | 0.65     | 0.95 | 60.95   | 61.45 | 35.50    | 34.50 | 86.80    | 88.35  | 90.05     | 92.15  | 44.55   | 45.15 | 36.40   | 34.95 | 34.05   | 34.05 | 34.60   | 34.60 | 0.00028 |
| 10.00-11.00          | 699.35   | 692.81 | 5.35     | 5.30 | 0.95     | 1.00 | 68.70   | 68.90 | 36.00    | 35.00 | 94.10    | 94.90  | 98.90     | 98.95  | 50.45   | 50.05 | 36.90   | 35.35 | 35.95   | 36.00 | 36.70   | 36.75 | 0.00028 |
| 11.00-12.00          | 771.24   | 758.17 | 5.90     | 5.80 | 1.05     | 0.85 | 73.95   | 74.25 | 36.50    | 35.50 | 100.20   | 101.10 | 105.95    | 105.25 | 54.55   | 54.30 | 36.85   | 35.75 | 37.25   | 37.35 | 38.20   | 38.35 | 0.00028 |
| 12.00-13.00          | 745.10   | 764.71 | 5.70     | 5.85 | 1.25     | 1.05 | 71.50   | 72.05 | 37.00    | 36.00 | 96.45    | 98.35  | 103.05    | 103.50 | 54.00   | 55.55 | 36.95   | 35.05 | 38.50   | 38.80 | 39.45   | 39.85 | 0.00028 |
| 13.00-14.00          | 660.13   | 660.13 | 5.05     | 5.05 | 1.10     | 1.35 | 67.10   | 66.95 | 36.50    | 35.50 | 87.40    | 87.50  | 95.10     | 96.15  | 50.75   | 50.70 | 36.35   | 34.45 | 39.95   | 40.25 | 40.80   | 41.10 | 0.00028 |
| 14.00-15.00          | 575.16   | 555.56 | 4.40     | 4.25 | 0.95     | 1.60 | 61.05   | 60.10 | 35.00    | 34.50 | 77.60    | 75.40  | 83.10     | 82.30  | 47.95   | 46.30 | 35.25   | 34.40 | 41.05   | 41.25 | 41.75   | 41.90 | 0.00028 |

| Sudut Kemiringan 30 <sup>o</sup> |                       |        |                       |      |                      |      |                     |       |                      |       |                      |        |                       |        |                     |       |                     |       |                     |       |                     |       |                       |
|----------------------------------|-----------------------|--------|-----------------------|------|----------------------|------|---------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|--------|-----------------------|--------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|---------------------|-------|-----------------------|
| Jam                              | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | I (W/m <sup>2</sup> ) |      | V <sub>∞</sub> (m/s) |      | T <sub>k</sub> (°C) |       | T <sub>∞1</sub> (°C) |       | T <sub>∞2</sub> (°C) |        | T <sub>abs</sub> (°C) |        | T <sub>P</sub> (°C) |       | T <sub>T</sub> (°C) |       | T <sub>i</sub> (°C) |       | T <sub>o</sub> (°C) |       | Q (m <sup>3</sup> /s) |
| 09.00-10.00                      | 581.70                | 575.16 | 4.45                  | 4.40 | 0.60                 | 1.30 | 64.05               | 64.15 | 35.00                | 35.00 | 89.10                | 89.25  | 92.75                 | 93.45  | 46.95               | 46.75 | 38.35               | 36.40 | 34.40               | 34.40 | 35.20               | 35.20 | 0.00028               |
| 10.00-11.00                      | 673.20                | 653.59 | 5.15                  | 5.00 | 0.95                 | 1.65 | 71.20               | 70.70 | 34.50                | 36.00 | 95.95                | 95.40  | 101.80                | 100.25 | 54.85               | 53.80 | 39.55               | 36.70 | 36.80               | 36.80 | 37.80               | 37.75 | 0.00028               |
| 11.00-12.00                      | 758.17                | 751.63 | 5.80                  | 5.75 | 1.00                 | 1.45 | 75.20               | 75.15 | 34.00                | 36.50 | 102.15               | 102.20 | 108.15                | 106.60 | 59.60               | 58.95 | 38.60               | 38.70 | 38.35               | 38.35 | 39.45               | 39.45 | 0.00028               |
| 12.00-13.00                      | 758.17                | 764.71 | 5.80                  | 5.85 | 1.50                 | 1.00 | 74.65               | 75.20 | 34.00                | 37.00 | 101.00               | 101.95 | 106.45                | 106.65 | 57.85               | 57.65 | 38.80               | 39.30 | 39.70               | 40.00 | 40.75               | 41.10 | 0.00028               |
| 13.00-14.00                      | 679.74                | 673.20 | 5.20                  | 5.15 | 1.25                 | 0.95 | 71.20               | 70.90 | 34.00                | 36.00 | 94.70                | 94.25  | 99.95                 | 99.60  | 52.95               | 52.65 | 39.60               | 38.05 | 40.85               | 41.20 | 41.80               | 42.15 | 0.00028               |
| 14.00-15.00                      | 588.24                | 581.70 | 4.50                  | 4.45 | 0.80                 | 1.30 | 64.65               | 62.45 | 33.50                | 34.50 | 87.95                | 83.00  | 90.15                 | 87.20  | 49.20               | 47.75 | 37.50               | 36.25 | 41.80               | 41.90 | 42.55               | 42.60 | 0.00028               |

# Perhitungan Intensitas Matahari Yang Mengenai Kolektor

## Perhitungan IT 10 derajat

| Jam         | N   |     | $\beta$ | A (km) | B       |         | E     |       | Solar Time |       | $\omega$ |        | $\delta$ |       | $\varphi$ | $\gamma$ | $\cos \theta$ |       |
|-------------|-----|-----|---------|--------|---------|---------|-------|-------|------------|-------|----------|--------|----------|-------|-----------|----------|---------------|-------|
| 09.00-10.00 | 152 | 153 | 10      | 0.008  | 148.932 | 149.918 | 2.576 | 2.425 | 8.32       | 8.31  | -52      | -52.25 | 22.04    | 22.17 | -7.24917  | 180      | 0.588         | 0.584 |
| 10.00-11.00 | 152 | 153 | 10      | 0.008  | 148.932 | 149.918 | 2.576 | 2.425 | 9.32       | 9.31  | -37      | -37.25 | 22.04    | 22.17 | -7.24917  | 180      | 0.757         | 0.754 |
| 11.00-12.00 | 152 | 153 | 10      | 0.008  | 148.932 | 149.918 | 2.576 | 2.425 | 10.32      | 10.31 | -22      | -22.25 | 22.04    | 22.17 | -7.24917  | 180      | 0.876         | 0.874 |
| 12.00-13.00 | 152 | 153 | 10      | 0.008  | 148.932 | 149.918 | 2.576 | 2.425 | 11.32      | 11.31 | -7       | -7.25  | 22.04    | 22.17 | -7.24917  | 180      | 0.937         | 0.936 |
| 13.00-14.00 | 152 | 153 | 10      | 0.008  | 148.932 | 149.918 | 2.576 | 2.425 | 12.32      | 12.31 | 8        | 7.75   | 22.04    | 22.17 | -7.24917  | 180      | 0.935         | 0.935 |
| 14.00-15.00 | 152 | 153 | 10      | 0.008  | 148.932 | 149.918 | 2.576 | 2.425 | 13.32      | 13.31 | 23       | 22.75  | 22.04    | 22.17 | -7.24917  | 180      | 0.870         | 0.871 |

## Perhitungan IT 20 derajat

| Jam         | N   |     | $\beta$ | A (km) | B       |         | E     |       | Solar Time |       | $\omega$ |        | $\delta$ |       | $\varphi$ | $\gamma$ | $\cos \theta$ |       |
|-------------|-----|-----|---------|--------|---------|---------|-------|-------|------------|-------|----------|--------|----------|-------|-----------|----------|---------------|-------|
| 09.00-10.00 | 154 | 155 | 20      | 0.008  | 150.904 | 151.890 | 2.267 | 2.103 | 8.31       | 8.31  | -52.25   | -52.25 | 22.30    | 22.42 | -7.24917  | 180      | 0.636         | 0.636 |
| 10.00-11.00 | 154 | 155 | 20      | 0.008  | 150.904 | 151.890 | 2.267 | 2.103 | 9.31       | 9.31  | -37.25   | -37.25 | 22.30    | 22.42 | -7.24917  | 180      | 0.802         | 0.802 |
| 11.00-12.00 | 154 | 155 | 20      | 0.008  | 150.904 | 151.890 | 2.267 | 2.103 | 10.31      | 10.31 | -22.25   | -22.25 | 22.30    | 22.42 | -7.24917  | 180      | 0.919         | 0.919 |
| 12.00-13.00 | 154 | 155 | 20      | 0.008  | 150.904 | 151.890 | 2.267 | 2.103 | 11.31      | 11.31 | -7.25    | -7.25  | 22.30    | 22.42 | -7.24917  | 180      | 0.979         | 0.979 |
| 13.00-14.00 | 154 | 155 | 20      | 0.008  | 150.904 | 151.890 | 2.267 | 2.103 | 12.31      | 12.31 | 7.75     | 7.75   | 22.30    | 22.42 | -7.24917  | 180      | 0.978         | 0.978 |
| 14.00-15.00 | 154 | 155 | 20      | 0.008  | 150.904 | 151.890 | 2.267 | 2.103 | 13.31      | 13.31 | 22.75    | 22.75  | 22.30    | 22.42 | -7.24917  | 180      | 0.916         | 0.916 |

## Perhitungan IT 30 derajat

| Jam         | N   |     | $\beta$ | A (km) | B       |         | E     |       | Solar Time |       | $\omega$ |        | $\delta$ |       | $\varphi$ | $\gamma$ | $\cos \theta$ |       |
|-------------|-----|-----|---------|--------|---------|---------|-------|-------|------------|-------|----------|--------|----------|-------|-----------|----------|---------------|-------|
| 09.00-10.00 | 156 | 157 | 30      | 0.008  | 152.877 | 153.863 | 1.933 | 1.757 | 8.31       | 8.31  | -52.25   | -52.25 | 22.54    | 22.65 | -7.24917  | 180      | 0.670         | 0.670 |
| 10.00-11.00 | 156 | 157 | 30      | 0.008  | 152.877 | 153.863 | 1.933 | 1.757 | 9.31       | 9.31  | -37.25   | -37.25 | 22.54    | 22.65 | -7.24917  | 180      | 0.826         | 0.826 |
| 11.00-12.00 | 156 | 157 | 30      | 0.008  | 152.877 | 153.863 | 1.933 | 1.757 | 10.31      | 10.31 | -22.25   | -22.25 | 22.54    | 22.65 | -7.24917  | 180      | 0.937         | 0.937 |
| 12.00-13.00 | 156 | 157 | 30      | 0.008  | 152.877 | 153.863 | 1.933 | 1.757 | 11.31      | 11.31 | -7.25    | -7.25  | 22.54    | 22.65 | -7.24917  | 180      | 0.993         | 0.993 |
| 13.00-14.00 | 156 | 157 | 30      | 0.008  | 152.877 | 153.863 | 1.933 | 1.757 | 12.31      | 12.31 | 7.75     | 7.75   | 22.54    | 22.65 | -7.24917  | 180      | 0.992         | 0.992 |
| 14.00-15.00 | 156 | 157 | 30      | 0.008  | 152.877 | 153.863 | 1.933 | 1.757 | 13.31      | 13.31 | 22.75    | 22.75  | 22.54    | 22.65 | -7.24917  | 180      | 0.934         | 0.934 |

Perhitungan Intensitas Matahari Yang Mengenai Kolektor (*continued*)

| Perhitungan IT 10 derajat |       |       |       |     |        |     |        |          |          |       |       |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------|-------|-------|-------|-----|--------|-----|--------|----------|----------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| cos θz                    |       | Rb    |       | ω1  |        | ω2  |        | Io       |          | kT    |       | Id      |         | Ib      |         | IT      |         |
| 0.519                     | 0.515 | 1.134 | 1.135 | -67 | -67.25 | -52 | -52.25 | 549.724  | 592.556  | 1.046 | 1.022 | 101.804 | 99.490  | 473.359 | 462.601 | 638.466 | 624.750 |
| 0.687                     | 0.684 | 1.103 | 1.104 | -52 | -52.25 | -37 | -37.25 | 797.760  | 861.612  | 0.787 | 0.803 | 68.901  | 113.373 | 558.550 | 527.150 | 685.137 | 695.216 |
| 0.805                     | 0.803 | 1.088 | 1.089 | -37 | -37.25 | -22 | -22.25 | 987.188  | 1066.737 | 0.781 | 0.794 | 136.510 | 138.824 | 634.732 | 645.490 | 827.533 | 842.036 |
| 0.865                     | 0.864 | 1.083 | 1.083 | -22 | -22.25 | -7  | -7.25  | 1105.100 | 1194.361 | 0.745 | 0.722 | 153.026 | 182.878 | 670.503 | 614.508 | 879.140 | 848.453 |
| 0.863                     | 0.863 | 1.083 | 1.083 | -7  | -7.25  | 8   | 7.75   | 1143.460 | 1238.579 | 0.629 | 0.640 | 287.649 | 277.481 | 431.305 | 454.545 | 753.656 | 768.978 |
| 0.799                     | 0.800 | 1.089 | 1.090 | 8   | 7.75   | 23  | 22.75  | 1099.654 | 1192.382 | 0.559 | 0.571 | 324.999 | 318.190 | 289.380 | 309.261 | 638.627 | 653.674 |

| Perhitungan IT 20 derajat |       |       |       |        |        |        |        |          |          |       |       |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| cos θz                    |       | Rb    |       | ω1     |        | ω2     |        | Io       |          | kT    |       | Id      |         | Ib      |         | IT      |         |
| 0.514                     | 0.513 | 1.238 | 1.239 | -67.25 | -67.25 | -52.25 | -52.25 | 542.732  | 592.037  | 1.108 | 1.036 | 106.431 | 99.490  | 494.876 | 462.601 | 719.380 | 673.242 |
| 0.683                     | 0.682 | 1.175 | 1.176 | -52.25 | -52.25 | -37.25 | -37.25 | 790.879  | 860.295  | 0.810 | 0.810 | 42.791  | 113.373 | 597.732 | 527.150 | 747.611 | 733.795 |
| 0.802                     | 0.801 | 1.146 | 1.147 | -37.25 | -37.25 | -22.25 | -22.25 | 980.842  | 1066.059 | 0.773 | 0.760 | 134.196 | 131.882 | 623.974 | 613.216 | 850.062 | 836.047 |
| 0.863                     | 0.862 | 1.135 | 1.136 | -22.25 | -22.25 | -7.25  | -7.25  | 1099.676 | 1194.473 | 0.713 | 0.701 | 191.898 | 205.569 | 592.416 | 565.673 | 863.164 | 846.542 |
| 0.862                     | 0.860 | 1.135 | 1.136 | -7.25  | -7.25  | 7.75   | 7.75   | 1139.282 | 1237.362 | 0.620 | 0.665 | 294.327 | 252.103 | 411.556 | 506.067 | 756.852 | 823.984 |
| 0.799                     | 0.798 | 1.147 | 1.148 | 7.75   | 7.75   | 22.75  | 22.75  | 1096.960 | 1191.214 | 0.560 | 0.512 | 323.448 | 345.219 | 290.931 | 216.872 | 651.113 | 587.191 |

| Perhitungan IT 30 derajat |       |       |       |        |        |        |        |          |          |       |       |         |         |         |         |         |         |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| cos θz                    |       | Rb    |       | ω1     |        | ω2     |        | Io       |          | kT    |       | Id      |         | Ib      |         | IT      |         |
| 0.513                     | 0.512 | 1.307 | 1.309 | -67.25 | -67.25 | -52.25 | -52.25 | 540.782  | 591.097  | 1.015 | 1.039 | 97.176  | 99.490  | 451.843 | 462.601 | 688.375 | 705.783 |
| 0.681                     | 0.680 | 1.213 | 1.215 | -52.25 | -52.25 | -37.25 | -37.25 | 788.375  | 858.928  | 0.779 | 0.746 | 108.745 | 108.300 | 505.634 | 479.936 | 723.196 | 692.028 |
| 0.800                     | 0.799 | 1.171 | 1.173 | -37.25 | -37.25 | -22.25 | -22.25 | 977.914  | 1064.634 | 0.749 | 0.735 | 131.510 | 146.845 | 600.516 | 572.109 | 835.849 | 817.492 |
| 0.861                     | 0.860 | 1.154 | 1.155 | -22.25 | -22.25 | -7.25  | -7.25  | 1096.483 | 1192.946 | 0.715 | 0.715 | 188.901 | 188.901 | 595.413 | 595.413 | 873.939 | 874.692 |
| 0.860                     | 0.859 | 1.154 | 1.156 | -7.25  | -7.25  | 7.75   | 7.75   | 1136.000 | 1236.236 | 0.644 | 0.656 | 271.819 | 260.897 | 460.207 | 484.201 | 794.682 | 812.979 |
| 0.797                     | 0.796 | 1.172 | 1.174 | 7.75   | 7.75   | 22.75  | 22.75  | 1093.774 | 1190.070 | 0.574 | 0.550 | 314.648 | 327.984 | 312.802 | 273.323 | 668.630 | 634.822 |

## Perhitungan Radiasi Yang diserap Kolektor

### Perhitungan S 10 derajat

| Trans ( $\tau$ ) | Absorp ( $\alpha$ ) | S ( $W/m^2$ ) |          |
|------------------|---------------------|---------------|----------|
| 0.79             | 0.95                | 483.9602      | 473.5638 |
| 0.79             | 0.95                | 519.3371      | 526.9772 |
| 0.79             | 0.95                | 627.2741      | 638.2673 |
| 0.79             | 0.95                | 666.3926      | 643.1315 |
| 0.79             | 0.95                | 571.2749      | 582.8892 |
| 0.79             | 0.95                | 484.0827      | 495.4885 |

### Perhitungan S 20 derajat

| Trans ( $\tau$ ) | Absorp ( $\alpha$ ) | S ( $W/m^2$ ) |          |
|------------------|---------------------|---------------|----------|
| 0.79             | 0.95                | 545.2934      | 510.3206 |
| 0.79             | 0.95                | 566.6927      | 556.22   |
| 0.79             | 0.95                | 644.3515      | 633.7279 |
| 0.79             | 0.95                | 654.2829      | 641.6828 |
| 0.79             | 0.95                | 573.6977      | 624.5839 |
| 0.79             | 0.95                | 493.5473      | 445.0938 |

### Perhitungan S 30 derajat

| Trans ( $\tau$ ) | Absorp ( $\alpha$ ) | S ( $W/m^2$ ) |          |
|------------------|---------------------|---------------|----------|
| 0.79             | 0.95                | 521.7914      | 534.9869 |
| 0.79             | 0.95                | 548.1863      | 524.5605 |
| 0.79             | 0.95                | 633.5774      | 619.6634 |
| 0.79             | 0.95                | 662.4498      | 663.0208 |
| 0.79             | 0.95                | 602.3731      | 616.2421 |
| 0.79             | 0.95                | 506.8252      | 481.198  |

## Perhitungan Perpan Konveksi dan Radiasi Pada Kaca Ke Lingkungan

Perpan Konveksi dan radiasi Pada Kaca dengan Lingkungan 10 Derajat

| $\rho$ udara (kg/m <sup>3</sup> ) | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) | L (m)       | Re  | Pr          | Nu         | Kond udara (W/mK) | h (W/m <sup>2</sup> K) | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | $\varepsilon$ | hr (W/m <sup>2</sup> K) |          |          |          |          |     |          |          |
|-----------------------------------|---|-------------|-----|-------------|------------|-------------------|------------------------|---|---------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|-----|----------|----------|
| 1.146424                          | 1.88695E-05                                     | 1.88695E-05 | 1.5 | 27339.92952 | 209606.126 | 0.70547           | 0.70547                | 97.7371396                                  | 270.6219      | 0.026975                | 0.026975 | 1.785332 | 4.94336  | 5.67E-08 | 0.9 | 6.651721 | 6.751242 |
| 1.1450928                         | 1.89059E-05                                     | 1.88695E-05 | 1.5 | 136278.0296 | 91027.2768 | 0.705334          | 0.70547                | 218.195577                                  | 178.3392      | 0.027035                | 0.026975 | 3.985706 | 3.257662 | 5.67E-08 | 0.9 | 6.824584 | 6.947515 |
| 1.146424                          | 1.88695E-05                                     | 1.88695E-05 | 1.5 | 27339.92952 | 182266.197 | 0.70547           | 0.70547                | 97.7371396                                  | 252.3562      | 0.026975                | 0.026975 | 1.785332 | 4.609707 | 5.67E-08 | 0.9 | 7.101284 | 7.15205  |
| 1.143928                          | 1.89378E-05                                     | 1.87785E-05 | 1.5 | 9060.696228 | 274126.048 | 0.705215          | 0.70581                | 56.2586593                                  | 309.5322      | 0.027088                | 0.026825 | 1.027658 | 5.654122 | 5.67E-08 | 0.9 | 7.261039 | 7.177572 |
| 1.149752                          | 1.87785E-05                                     | 1.87785E-05 | 1.5 | 128576.7873 | 128576.787 | 0.70581           | 0.70581                | 211.988336                                  | 211.9883      | 0.026825                | 0.026825 | 3.87232  | 3.87232  | 5.67E-08 | 0.9 | 6.898672 | 6.96835  |
| 1.149752                          | 1.87785E-05                                     | 1.87785E-05 | 1.5 | 82656.50611 | 183681.125 | 0.70581           | 0.70581                | 169.968798                                  | 253.3745      | 0.026825                | 0.026825 | 3.104763 | 4.628308 | 5.67E-08 | 0.9 | 6.735165 | 6.823041 |

Perpan Konveksi dan radiasi Pada Kaca dengan Lingkungan 20 derajat

| $\rho$ udara (kg/m <sup>3</sup> ) | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) | L (m)       | Re          | Pr  | Nu          | Kond udara (W/mK) | h (W/m <sup>2</sup> K) | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | $\varepsilon$ | hr (W/m <sup>2</sup> K) |          |          |          |          |          |     |          |          |
|-----------------------------------|---|-------------|-------------|-----|-------------|-------------------|------------------------|---|---------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|----------|----------|
| 1.148088                          | 1.149752  | 0.000018824 | 1.87785E-05 | 1.5 | 45742.98768 | 45853.8222        | 0.70564                | 0.70581                                     | 126.43231     | 126.5956                | 0.0269   | 0.026825 | 2.309497 | 2.312479 | 5.67E-08 | 0.9 | 6.675537 | 6.654667 |
| 1.146424                          | 1.148088  | 1.88695E-05 | 0.000018824 | 1.5 | 72906.47871 | 127894.73         | 0.70547                | 0.70564                                     | 159.604081    | 211.4083                | 0.026975 | 0.0269   | 2.915435 | 3.861726 | 5.67E-08 | 0.9 | 6.878269 | 6.870289 |
| 1.146424                          | 1.148088  | 1.88695E-05 | 0.000018824 | 1.5 | 100246.4082 | 54812.0272        | 0.70547                | 0.70564                                     | 187.152374    | 138.3993                | 0.026975 | 0.0269   | 3.41865  | 2.528093 | 5.67E-08 | 0.9 | 7.220218 | 7.178351 |
| 1.14476                           | 1.146424  | 0.000018915 | 1.88695E-05 | 1.5 | 90781.91911 | 100100.904        | 0.7053                 | 0.70547                                     | 178.084336    | 187.0165                | 0.02705  | 0.026975 | 3.253007 | 3.416168 | 5.67E-08 | 0.9 | 7.262267 | 7.261382 |
| 1.14476                           | 1.146424  | 0.000018915 | 1.88695E-05 | 1.5 | 136172.8787 | 91000.8214        | 0.7053                 | 0.70547                                     | 218.107877    | 178.3132                | 0.02705  | 0.026975 | 3.984104 | 3.257188 | 5.67E-08 | 0.9 | 7.085609 | 7.060893 |
| 1.146424                          | 1.148088  | 1.88695E-05 | 0.000018824 | 1.5 | 63793.16887 | 155300.744        | 0.70547                | 0.70564                                     | 149.295947    | 232.9607                | 0.026975 | 0.0269   | 2.727139 | 4.255415 | 5.67E-08 | 0.9 | 6.934279 | 6.886736 |

Perpan Konveksi dan radiasi Pada Kaca dengan Lingkungan 30 derajat

| $\rho$ udara (kg/m <sup>3</sup> ) | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) | L (m)       | Re          | Pr  | Nu          | Kond udara (W/mK) | h (W/m <sup>2</sup> K) | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | $\varepsilon$ | hr (W/m <sup>2</sup> K) |          |          |          |          |          |     |          |          |
|-----------------------------------|---|-------------|-------------|-----|-------------|-------------------|------------------------|---|---------------|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|----------|----------|
| 1.148088                          | 1.149752  | 0.000018824 | 1.87785E-05 | 1.5 | 9148.597535 | 55024.5866        | 0.70564                | 0.70581                                     | 56.542248     | 138.6785                | 0.0269   | 0.026825 | 1.032838 | 2.533194 | 5.67E-08 | 0.9 | 6.756098 | 6.744881 |
| 1.148088                          | 1.146424  | 0.000018824 | 1.88695E-05 | 1.5 | 100634.5729 | 182530.751        | 0.70564                | 0.70547                                     | 187.529421    | 252.5393                | 0.0269   | 0.026975 | 3.425537 | 4.613051 | 5.67E-08 | 0.9 | 6.96948  | 6.987351 |
| 1.149752                          | 1.146424  | 1.87785E-05 | 1.88695E-05 | 1.5 | 73472.44988 | 118816.948        | 0.70581                | 0.70547                                     | 160.24812     | 203.7512                | 0.026825 | 0.026975 | 2.927199 | 3.721855 | 5.67E-08 | 0.9 | 7.201525 | 7.244206 |
| 1.149752                          | 1.14476   | 1.87785E-05 | 0.000018915 | 1.5 | 110208.6748 | 145884.473        | 0.70581                | 0.7053                                      | 196.263063    | 225.7515                | 0.026825 | 0.02705  | 3.585072 | 4.123727 | 5.67E-08 | 0.9 | 7.208381 | 7.320827 |
| 1.149752                          | 1.14476   | 1.87785E-05 | 0.000018915 | 1.5 | 165313.0122 | 36471.1182        | 0.70581                | 0.7053                                      | 240.37218     | 112.8757                | 0.026825 | 0.02705  | 4.390798 | 2.061863 | 5.67E-08 | 0.9 | 7.163915 | 7.279449 |
| 1.149752                          | 1.148088  | 1.87785E-05 | 0.000018824 | 1.5 | 64288.39364 | 137427.858        | 0.70581                | 0.70564                                     | 149.89839     | 219.1458                | 0.026825 | 0.0269   | 2.738144 | 4.003064 | 5.67E-08 | 0.9 | 6.975017 | 6.966154 |

# Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Kaca Dengan Pelat Absorber

Perpan konveksi dan radiasi Kaca Dgn Plat abs 10 derajat

| TF (K) | g (m/s <sup>2</sup> ) | $\beta$ | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) | Kec Kinematis $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) | Ra           | Nu          | k (W/mK)    | h (W/m <sup>2</sup> K) | $\epsilon$  | hr (W/m <sup>2</sup> K) |            |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--------|-----------------------|---------|---|--|--------------|-------------|-------------|------------------------|-------------|-------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 343.7  | 350.05                | 9.81    | 0.00291   | 0.002857                                   | 2.048672E-05 | 3.04079E-05 | 167012841.7 | 201780726.9            | 30.6938404  | 32.17983                | 0.03       | 0.03     | 30.69384 | 32.17983 | 0.02     | 8.301459 | 8.776905 |          |          |
| 348.65 | 356.75                | 9.81    | 0.002868  | 0.002803                                   | 2.10081E-05  | 2.18601E-05 | 3.01867E-05 | 3.14665E-05            | 160282925.1 | 195669126.6             | 30.3798468 | 31.93334 | 0.03     | 0.03     | 30.37985 | 31.93334 | 0.02     | 8.665626 | 9.291543 |
| 359.9  | 361.35                | 9.81    | 0.002779  | 0.002767                                   | 2.21915E-05  | 2.2344E-05  | 3.19642E-05 | 3.21933E-05            | 159472260.7 | 158353930.9             | 30.3413606 | 30.28803 | 0.03     | 0.03     | 30.34136 | 30.28803 | 0.02     | 9.535732 | 9.651166 |
| 362.65 | 363.6                 | 9.81    | 0.002757  | 0.00275                                    | 2.24808E-05  | 2.25807E-05 | 3.23987E-05 | 3.25488E-05            | 149024410   | 150024157.3             | 29.8317078 | 29.88161 | 0.03     | 0.03     | 29.83171 | 29.88161 | 0.02     | 9.754352 | 9.83147  |
| 354.05 | 356.5                 | 9.81    | 0.002824  | 0.002805                                   | 2.15761E-05  | 2.18338E-05 | 3.10399E-05 | 0.000031427            | 154629786.2 | 157162329.7             | 30.1083567 | 30.23089 | 0.03     | 0.03     | 30.10836 | 30.23089 | 0.02     | 9.075133 | 9.265382 |
| 346.9  | 349.25                | 9.81    | 0.002883  | 0.002863                                   | 2.08239E-05  | 2.10711E-05 | 2.99102E-05 | 3.02815E-05            | 145289328.4 | 140365695.9             | 29.6430027 | 29.38861 | 0.03     | 0.03     | 29.643   | 29.38861 | 0.02     | 8.532756 | 8.706555 |

Perpan konveksi dan radiasi Kaca Dgn Plat abs 20 derajat

| TF (K) | g (m/s²) | β    | Viskositas kinematik μ (Ns/m²) | Kec Kinematis α (m²/s) | Ra          | Nu          | k (W/mK)    | h (W/m²K)   | ε           | hr (W/m²K)  |            |          |      |          |          |          |      |          |          |
|--------|----------|------|--------------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|----------|------|----------|----------|----------|------|----------|----------|
| 345.85 | 347.55   | 9.81 | 0.002891                       | 0.002877               | 2.07134E-05 | 2.08923E-05 | 2.97443E-05 | 3.00129E-05 | 167466778.2 | 182682458   | 30.7146754 | 31.38976 | 0.02 | 8.458958 | 8.587192 |          |      |          |          |
| 351.15 | 352.05   | 9.81 | 0.002848                       | 0.002841               | 2.1271E-05  | 2.13657E-05 | 3.05817E-05 | 3.07239E-05 | 156217690.8 | 157960159.9 | 30.1853571 | 30.26918 | 0.03 | 0.03     | 30.18536 | 30.26918 | 0.02 | 8.853369 | 8.921961 |
| 362.45 | 361.8    | 9.81 | 0.002759                       | 0.002764               | 2.24597E-05 | 2.23914E-05 | 3.23671E-05 | 3.22644E-05 | 145668866.2 | 142666947.9 | 29.6623428 | 29.50833 | 0.03 | 0.03     | 29.66234 | 29.50833 | 0.02 | 9.737306 | 9.684277 |
| 363.45 | 363.7    | 9.81 | 0.002751                       | 0.00275                | 2.25649E-05 | 2.25912E-05 | 3.25251E-05 | 3.25646E-05 | 150324329.8 | 144248911.2 | 29.8965506 | 29.58979 | 0.03 | 0.03     | 29.89655 | 29.58979 | 0.02 | 9.819685 | 9.838389 |
| 357.1  | 357.85   | 9.81 | 0.0028                         | 0.002794               | 2.18969E-05 | 2.19758E-05 | 3.15218E-05 | 3.16403E-05 | 151240711.9 | 156384790.2 | 29.9420094 | 30.19343 | 0.03 | 0.03     | 29.94201 | 30.19343 | 0.02 | 9.311963 | 9.371931 |
| 351.1  | 351.25   | 9.81 | 0.002848                       | 0.002847               | 2.12657E-05 | 2.12815E-05 | 3.05738E-05 | 3.05975E-05 | 137517714.1 | 144439326.9 | 29.238388  | 29.59955 | 0.03 | 0.03     | 29.23839 | 29.59955 | 0.02 | 8.846162 | 8.858718 |

Perpan konveksi dan radiasi Kaca Dgn Plat abs 30 derajat

| Tf (K) | g (m/s²) | β    | Viskositas kinematik μ (Ns/m²) | Kec Kinematis α (m²/s) | Ra          | Nu          | k (W/mK)    | h (W/m²K)   | ε           | hr (W/m²K)  |            |          |      |      |          |          |      |          |          |
|--------|----------|------|--------------------------------|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|----------|------|------|----------|----------|------|----------|----------|
| 348.2  | 349.55   | 9.81 | 0.002872                       | 0.002861               | 2.09606E-05 | 2.11027E-05 | 3.01156E-05 | 3.03289E-05 | 160674398.3 | 168389994.7 | 30.3983797 | 30.75692 | 0.03 | 0.03 | 30.39838 | 30.75692 | 0.02 | 8.632051 | 8.734309 |
| 354.6  | 354.05   | 9.81 | 0.00282                        | 0.002824               | 2.16339E-05 | 2.15761E-05 | 3.11268E-05 | 3.10399E-05 | 146871194.7 | 145556352   | 29.7233613 | 29.65661 | 0.03 | 0.03 | 29.72336 | 29.65661 | 0.02 | 9.116066 | 9.073451 |
| 364.4  | 362.9    | 9.81 | 0.002744                       | 0.002756               | 2.26649E-05 | 2.25071E-05 | 3.26752E-05 | 3.24382E-05 | 148131211.1 | 140530661.4 | 29.7869069 | 29.39724 | 0.03 | 0.03 | 29.78691 | 29.39724 | 0.02 | 9.896663 | 9.772999 |
| 364.95 | 364.85   | 9.81 | 0.00274                        | 0.002741               | 2.27227E-05 | 2.27122E-05 | 3.27621E-05 | 3.27463E-05 | 150299472.1 | 144922985.3 | 29.8953146 | 29.6243  | 0.03 | 0.03 | 29.89531 | 29.6243  | 0.02 | 9.942342 | 9.932721 |
| 362.15 | 363      | 9.81 | 0.002761                       | 0.002755               | 2.24282E-05 | 2.25176E-05 | 3.23197E-05 | 0.000032454 | 141537593   | 143536303.6 | 29.449757  | 29.55318 | 0.03 | 0.03 | 29.44976 | 29.55318 | 0.02 | 9.712039 | 9.78107  |
| 355    | 353.5    | 9.81 | 0.002817                       | 0.002829               | 0.000021676 | 2.15182E-05 | 0.00003119  | 0.000030953 | 138971278.9 | 136482422.3 | 29.3153462 | 29.1832  | 0.03 | 0.03 | 29.31535 | 29.1832  | 0.02 | 9.145502 | 9.029592 |



# Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Pipa Dan Penutup

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 10 derajat

| Tf (K) |       | $\beta$ | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) | Kec Kinematik $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) | Pr         | Ra         | Nu        | Kond udara (W/mK) | h (W/m <sup>2</sup> K) | $\varepsilon$ | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |         |       |       |         |         |      |          |         |         |
|--------|-------|---------|---|--|------------|------------|-----------|-------------------|------------------------|---------------|---|-------------------------|---------|-------|-------|---------|---------|------|----------|---------|---------|
| 321.4  | 329.4 | 0.00540 | 0.00518   | 1.8146E-05                                 | 1.8982E-05 | 2.5889E-05 | 2.714E-05 | 0.703353          | 0.702002               | 715.912710    | 276.465097                                  | 2.36511                 | 1.96065 | 0.028 | 0.028 | 9.07166 | 7.52033 | 0.03 | 5.67E-08 | 6.78429 | 7.29625 |
| 325.5  | 334.0 | 0.00529 | 0.00506   | 1.8572E-05                                 | 1.9472E-05 | 0.00002652 | 2.788E-05 | 0.702665          | 0.701211               | 713.068820    | 362.655956                                  | 2.36297                 | 2.06550 | 0.028 | 0.028 | 9.06348 | 7.92248 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.04447 | 7.61034 |
| 332.4  | 337.9 | 0.00510 | 0.00496   | 1.9303E-05                                 | 1.9877E-05 | 2.7627E-05 | 2.848E-05 | 0.701483          | 0.700557               | 792.456249    | 488.725429                                  | 2.41400                 | 2.18981 | 0.028 | 0.028 | 9.25920 | 8.39929 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.50804 | 7.87827 |
| 334.6  | 339.4 | 0.00504 | 0.00492   | 1.9529E-05                                 | 2.0034E-05 | 2.7966E-05 | 2.872E-05 | 0.701118          | 0.700302               | 846.488598    | 549.426458                                  | 2.44675                 | 2.24134 | 0.028 | 0.028 | 9.38481 | 8.59694 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.65634 | 7.98476 |
| 329.6  | 334.3 | 0.00517 | 0.00505   | 1.9009E-05                                 | 1.9503E-05 | 2.7184E-05 | 2.792E-05 | 0.701959          | 0.701160               | 722.631271    | 509.883677                                  | 2.36916                 | 2.20849 | 0.028 | 0.028 | 9.08719 | 8.47092 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.31815 | 7.63258 |
| 327.7  | 332.9 | 0.00523 | 0.00509   | 1.880E-05                                  | 1.9351E-05 | 2.6876E-05 | 2.769E-05 | 0.702291          | 0.701407               | 505.515149    | 298.910787                                  | 2.20504                 | 1.98996 | 0.028 | 0.028 | 8.45771 | 7.63274 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.18588 | 7.53158 |

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 20 derajat

| Tf (K) | $\beta$ | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) | Kec Kinematik $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) | Pr         | Ra         | Nu         | Kond udara (W/mK) | h (W/m <sup>2</sup> K) | $\epsilon$ | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |         |         |       |       |         |         |      |          |         |         |
|--------|---------|---|--|------------|------------|------------|-------------------|------------------------|------------|---|-------------------------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|------|----------|---------|---------|
| 323.1  | 323.4   | 0.00535   | 0.00534                                    | 1.8320E-05 | 1.8356E-05 | 2.6149E-05 | 2.620E-05         | 0.703073               | 0.703013   | 700.121010                                  | 694.383539              | 2.35433 | 2.35038 | 0.028 | 0.028 | 9.03031 | 9.01517 | 0.03 | 5.67E-08 | 6.88931 | 6.91166 |
| 328.4  | 329.1   | 0.00521   | 0.00519                                    | 1.8877E-05 | 1.8956E-05 | 2.6987E-05 | 2.710E-05         | 0.702172               | 0.702044   | 640.176921                                  | 633.491759              | 2.31178 | 2.30685 | 0.028 | 0.028 | 8.86711 | 8.84820 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.23378 | 7.28338 |
| 336.7  | 335.8   | 0.00499   | 0.00501                                    | 1.9756E-05 | 1.9656E-05 | 2.8306E-05 | 2.815E-05         | 0.700752               | 0.700914   | 684.973438                                  | 733.162923              | 2.34317 | 2.37581 | 0.028 | 0.028 | 8.98751 | 9.11269 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.80180 | 7.73692 |
| 337.7  | 338.7   | 0.00496   | 0.00494                                    | 1.9861E-05 | 1.9966E-05 | 2.8464E-05 | 2.862E-05         | 0.700582               | 0.700412   | 627.237585                                  | 617.103758              | 2.30179 | 2.29420 | 0.028 | 0.028 | 8.82879 | 8.79967 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.87053 | 7.94048 |
| 333.7  | 334.8   | 0.00507   | 0.00504                                    | 1.9440E-05 | 1.9556E-05 | 2.7832E-05 | 2.800E-05         | 0.701262               | 0.701075   | 582.838902                                  | 515.258791              | 2.26827 | 2.21307 | 0.028 | 0.028 | 8.70024 | 8.48850 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.59291 | 7.66725 |
| 330.1  | 328.8   | 0.00516   | 0.0052                                     | 1.9056E-05 | 1.8919E-05 | 2.7255E-05 | 2.705E-05         | 0.701883               | 0.702104   | 622.405689                                  | 688.315347              | 2.29861 | 2.34591 | 0.028 | 0.028 | 8.81658 | 8.99803 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.34666 | 7.26116 |

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 30 derajat

| Tf (K) |       | $\beta$ |        | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) | Kec Kinematik $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) | Pr         |          | Ra       |           | Nu          | Kond udara (W/mK) | $h$ (W/m <sup>2</sup> K) | $\epsilon$ | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |          |          |      |          |          |          |
|--------|-------|---------|--------|---|--|------------|----------|----------|-----------|-------------|-------------------|--------------------------|------------|---|-------------------------|----------|----------|------|----------|----------|----------|
| 325.1  | 326   | 0.0053  | 0.0052 | 1.853E-05                                       | 1.8625E-05                                 | 2.6473E-05 | 2.66E-05 | 0.702724 | 0.70258   | 713.1836397 | 689.0757427       | 2.363076                 | 2.346591   | 0.028                                       | 0.028                   | 9.063852 | 9.000624 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.021729 | 7.076632 |
| 331.8  | 330.9 | 0.0051  | 0.0051 | 1.924E-05                                       | 1.9140E-05                                 | 2.7532E-05 | 2.74E-05 | 0.701585 | 0.701747  | 623.2313931 | 667.4354003       | 2.299132                 | 2.331211   | 0.028                                       | 0.028                   | 8.81859  | 8.941652 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.464359 | 7.401113 |
| 340.2  | 339.6 | 0.0049  | 0.0049 | 2.011E-05                                       | 2.0055E-05                                 | 2.8851E-05 | 2.87E-05 | 0.700166 | 0.700268  | 509.9487002 | 511.629803        | 2.208255                 | 2.20973    | 0.028                                       | 0.028                   | 8.470017 | 8.475675 | 0.03 | 5.67E-08 | 8.041232 | 7.998776 |
| 340.6  | 340.5 | 0.0049  | 0.0049 | 2.016E-05                                       | 2.0150E-05                                 | 2.8914E-05 | 2.89E-05 | 0.700098 | 0.700115  | 493.9471189 | 532.7276047       | 2.194302                 | 2.227531   | 0.028                                       | 0.028                   | 8.4165   | 8.543953 | 0.03 | 5.67E-08 | 8.069403 | 8.062967 |
| 337.9  | 338.3 | 0.0049  | 0.0049 | 1.987E-05                                       | 1.9924E-05                                 | 2.8488E-05 | 2.85E-05 | 0.700557 | 0.7004805 | 609.0205039 | 617.5181201       | 2.288167                 | 2.294532   | 0.028                                       | 0.028                   | 8.776531 | 8.800944 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.880704 | 7.912406 |
| 332.2  | 331.2 | 0.0051  | 0.0051 | 1.928E-05                                       | 1.9172E-05                                 | 2.7595E-05 | 2.74E-05 | 0.701517 | 0.701696  | 670.4722301 | 663.4095614       | 2.333282                 | 2.328386   | 0.028                                       | 0.028                   | 8.949573 | 8.930796 | 0.03 | 5.67E-08 | 7.492207 | 7.421251 |

## Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Pipa Dan Penutup (*continued*)

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 10 derajat |      |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |       |       |         |      |         |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |
|---|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|---------|------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| At  | Ac   | Ab   | Af   | k     | P    | m     |       | M    |      | h/km |      | Ml    |       | Sinh ml |      | Cosh ml |      | qf   |      | qmax |      | nf   |      | n0   |       | tb    |       |
| 0.43  | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 53.00 | 0.09 | 25.08 | 22.84 | 0.22 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 37.63 | 34.26 | 0.00    | 0.00 | 1.22    | 1.18 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.12 | 0.01 | 0.02 | 0.88 | 0.88  | 41.50 | 30.30 |
| 98  | 00   | 69   | 05   | 00    | 78   | 97    | 39    | 78   | 72   | 68   | 62   | 45    | 58    | 99      | 90   | 36      | 42   | 38   | 27   | 95   | 08   | 91   | 24   | 18   | 22    | 41.50 | 30.30 |
| 0.43  | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 53.00 | 0.09 | 25.07 | 23.44 | 0.23 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 37.61 | 35.17 | 0.00    | 0.00 | 1.22    | 1.19 | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 0.14 | 0.01 | 0.02 | 0.88 | 0.88  | 44.30 | 33.90 |
| 98  | 00   | 69   | 05   | 00    | 78   | 84    | 67    | 53   | 24   | 68   | 64   | 75    | 01    | 98      | 92   | 34      | 44   | 39   | 30   | 28   | 23   | 85   | 11   | 17   | 20    | 44.30 | 33.90 |
| 0.43  | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 53.00 | 0.09 | 25.34 | 24.14 | 0.24 | 0.22 | 0.00 | 0.00 | 38.02 | 36.21 | 0.01    | 0.00 | 1.22    | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.23 | 0.18 | 0.01 | 0.01 | 0.88 | 0.88  | 48.20 | 42.00 |
| 98  | 00   | 69   | 05   | 00    | 78   | 77    | 20    | 81   | 05   | 69   | 66   | 15    | 30    | 00      | 95   | 84      | 65   | 42   | 36   | 65   | 70   | 77   | 90   | 16   | 18    | 48.20 | 42.00 |
| 0.43  | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 53.00 | 0.09 | 25.51 | 24.42 | 0.25 | 0.23 | 0.00 | 0.00 | 38.27 | 36.63 | 0.01    | 0.00 | 1.23    | 1.21 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 0.88 | 0.88  | 50.80 | 45.50 |
| 98  | 00   | 69   | 05   | 00    | 78   | 90    | 44    | 66   | 22   | 68   | 66   | 86    | 66    | 96      | 16   | 15      | 44   | 38   | 27   | 73   | 73   | 83   | 16   | 17   | 50.80 | 45.50 |       |
| 0.43  | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 53.00 | 0.09 | 25.11 | 24.24 | 0.20 | 0.19 | 0.00 | 0.00 | 37.66 | 36.36 | 0.00    | 0.00 | 1.22    | 1.20 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.14 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88  | 32.80 | 32.90 |
| 98  | 00   | 69   | 05   | 00    | 78   | 11    | 47    | 27   | 60   | 68   | 66   | 67    | 71    | 99      | 95   | 40      | 83   | 34   | 32   | 80   | 77   | 15   | 15   | 21   | 21    | 32.80 | 32.90 |
| 0.43  | 0.00 | 0.38 | 0.00 | 53.00 | 0.09 | 24.22 | 23.01 | 0.17 | 0.15 | 0.00 | 0.00 | 36.33 | 34.52 | 0.00    | 0.00 | 1.20    | 1.18 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.09 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88  | 26.60 | 22.70 |
| 98  | 00   | 69   | 05   | 00    | 78   | 58    | 40    | 61   | 46   | 66   | 63   | 87    | 10    | 95      | 90   | 80      | 71   | 28   | 24   | 92   | 18   | 39   | 58   | 24   | 26    | 26.60 | 22.70 |

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 20 derajat |                  |                  |                  |                   |                  |                   |                   |                  |                  |                  |                  |                   |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |                   |
|---|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| At  | Ac               | Ab               | Af               | k                 | P                | m                 |                   | M                |                  | h/km             |                  | Ml                |                   | Sinh ml          |                  | Cosh ml          |                  | qf               |                  | qmax             |                  | nf               |                  | n0               |                  | tb                |                   |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 25.03<br>24<br>14 | 25.01<br>14<br>68 | 0.22<br>68<br>06 | 0.23<br>06<br>68 | 0.00<br>68<br>68 | 0.00<br>68<br>86 | 37.54<br>86<br>71 | 37.51<br>71<br>71 | 0.00<br>98<br>98 | 0.00<br>98<br>25 | 1.22<br>25<br>22 | 1.22<br>22<br>38 | 0.00<br>38<br>38 | 0.00<br>38<br>77 | 0.19<br>77<br>45 | 0.20<br>45<br>45 | 0.01<br>92<br>88 | 0.01<br>88<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 41.30<br>00<br>00 | 42.80<br>00<br>00 |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.80<br>52<br>87 | 24.77<br>87<br>98 | 0.22<br>98<br>06 | 0.23<br>06<br>67 | 0.00<br>67<br>67 | 0.00<br>67<br>78 | 37.20<br>78<br>81 | 37.16<br>81<br>81 | 0.00<br>97<br>97 | 0.00<br>97<br>84 | 1.21<br>84<br>79 | 1.21<br>79<br>38 | 0.00<br>38<br>30 | 0.00<br>30<br>45 | 0.20<br>45<br>45 | 0.20<br>45<br>45 | 0.01<br>87<br>86 | 0.01<br>86<br>18 | 0.88<br>18<br>17 | 0.88<br>17<br>17 | 43.20<br>00<br>00 | 43.60<br>00<br>00 |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.97<br>30<br>64 | 25.14<br>64<br>38 | 0.23<br>38<br>07 | 0.24<br>07<br>68 | 0.00<br>68<br>68 | 0.00<br>68<br>96 | 37.45<br>96<br>95 | 37.71<br>95<br>98 | 0.00<br>98<br>99 | 0.00<br>99<br>14 | 1.22<br>14<br>46 | 1.22<br>46<br>39 | 0.00<br>39<br>40 | 0.00<br>40<br>01 | 0.21<br>01<br>27 | 0.22<br>27<br>27 | 0.01<br>85<br>81 | 0.01<br>81<br>17 | 0.88<br>17<br>17 | 0.88<br>17<br>17 | 44.10<br>00<br>00 | 46.10<br>00<br>00 |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.75<br>15<br>07 | 24.71<br>07<br>97 | 0.23<br>97<br>01 | 0.24<br>01<br>67 | 0.00<br>67<br>67 | 0.00<br>67<br>73 | 37.12<br>73<br>60 | 37.06<br>60<br>60 | 0.00<br>97<br>97 | 0.00<br>97<br>74 | 1.21<br>74<br>67 | 1.21<br>67<br>40 | 0.00<br>40<br>40 | 0.00<br>40<br>09 | 0.22<br>09<br>15 | 0.22<br>15<br>79 | 0.01<br>79<br>79 | 0.01<br>79<br>17 | 0.88<br>17<br>17 | 0.88<br>17<br>17 | 47.20<br>00<br>00 | 47.50<br>00<br>00 |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.57<br>07<br>99 | 24.26<br>99<br>27 | 0.21<br>27<br>12 | 0.21<br>12<br>67 | 0.00<br>67<br>66 | 0.00<br>66<br>60 | 36.85<br>60<br>48 | 36.40<br>48<br>96 | 0.00<br>96<br>95 | 0.00<br>95<br>41 | 1.21<br>41<br>87 | 1.20<br>87<br>35 | 0.00<br>35<br>34 | 0.00<br>34<br>14 | 0.17<br>14<br>17 | 0.17<br>17<br>14 | 0.02<br>01<br>99 | 0.01<br>99<br>19 | 0.88<br>19<br>19 | 0.88<br>19<br>19 | 37.70<br>00<br>00 | 38.10<br>00<br>00 |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.73<br>44<br>76 | 24.98<br>76<br>80 | 0.20<br>80<br>99 | 0.20<br>99<br>67 | 0.00<br>67<br>68 | 0.00<br>68<br>16 | 37.10<br>16<br>15 | 37.48<br>15<br>15 | 0.00<br>97<br>98 | 0.00<br>98<br>71 | 1.21<br>71<br>17 | 1.22<br>17<br>34 | 0.00<br>34<br>35 | 0.00<br>35<br>64 | 0.16<br>64<br>93 | 0.16<br>93<br>93 | 0.02<br>06<br>07 | 0.02<br>07<br>20 | 0.88<br>20<br>20 | 0.88<br>20<br>20 | 35.60<br>00<br>00 | 35.50<br>00<br>00 |

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 30 derajat |                  |                  |                  |                   |                  |                   |                   |                  |                  |                  |                  |                   |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                   |                   |  |  |
|---|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|--|--|
| At  | Ac               | Ab               | Af               | k                 | P                | m                 |                   | M                |                  | h/km             |                  | Ml                |                   | Sinh ml          |                  | Cosh ml          |                  | qf               |                  | qmax             |                  | nf               |                  | n0               |                  | tb                |                   |  |  |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 25.07<br>89<br>12 | 24.99<br>12<br>96 | 0.22<br>96<br>75 | 0.22<br>75<br>75 | 0.00<br>68<br>68 | 0.00<br>68<br>83 | 37.61<br>83<br>69 | 37.48<br>69<br>69 | 0.00<br>98<br>98 | 0.00<br>98<br>34 | 1.22<br>34<br>18 | 1.22<br>18<br>38 | 0.00<br>38<br>38 | 0.00<br>38<br>27 | 0.19<br>27<br>89 | 0.19<br>89<br>89 | 0.01<br>90<br>91 | 0.01<br>91<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 42.20<br>00<br>00 | 41.70<br>00<br>00 |  |  |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.73<br>72<br>92 | 24.90<br>92<br>62 | 0.22<br>62<br>10 | 0.23<br>10<br>67 | 0.00<br>67<br>68 | 0.00<br>68<br>59 | 37.10<br>59<br>37 | 37.36<br>37<br>98 | 0.00<br>98<br>97 | 0.00<br>97<br>88 | 1.21<br>88<br>03 | 1.22<br>03<br>37 | 0.00<br>37<br>38 | 0.00<br>38<br>68 | 0.19<br>68<br>52 | 0.20<br>52<br>90 | 0.01<br>90<br>87 | 0.01<br>87<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 42.10<br>00<br>00 | 43.30<br>00<br>00 |  |  |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.24<br>34<br>15 | 24.25<br>15<br>64 | 0.21<br>64<br>39 | 0.21<br>39<br>66 | 0.00<br>66<br>66 | 0.00<br>66<br>51 | 36.36<br>51<br>73 | 36.37<br>73<br>95 | 0.00<br>95<br>83 | 0.00<br>83<br>95 | 1.20<br>95<br>84 | 1.20<br>84<br>35 | 0.00<br>35<br>35 | 0.00<br>35<br>00 | 0.18<br>00<br>92 | 0.17<br>92<br>94 | 0.01<br>94<br>95 | 0.01<br>95<br>19 | 0.88<br>19<br>19 | 0.88<br>19<br>19 | 40.10<br>00<br>00 | 39.90<br>00<br>00 |  |  |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.16<br>67<br>90 | 24.32<br>90<br>85 | 0.22<br>85<br>43 | 0.23<br>43<br>66 | 0.00<br>66<br>66 | 0.00<br>66<br>01 | 36.25<br>01<br>35 | 36.52<br>35<br>95 | 0.00<br>95<br>96 | 0.00<br>96<br>69 | 1.20<br>69<br>01 | 1.21<br>01<br>37 | 0.00<br>37<br>38 | 0.00<br>38<br>07 | 0.20<br>07<br>10 | 0.21<br>10<br>84 | 0.01<br>84<br>80 | 0.01<br>80<br>17 | 0.88<br>17<br>17 | 0.88<br>17<br>17 | 45.00<br>00<br>00 | 46.60<br>00<br>00 |  |  |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.67<br>82<br>25 | 24.71<br>25<br>36 | 0.22<br>36<br>58 | 0.22<br>58<br>67 | 0.00<br>67<br>67 | 0.00<br>67<br>73 | 37.01<br>73<br>87 | 37.06<br>87<br>97 | 0.00<br>97<br>61 | 0.00<br>61<br>67 | 1.21<br>67<br>37 | 1.21<br>37<br>37 | 0.00<br>37<br>37 | 0.00<br>37<br>21 | 0.19<br>21<br>59 | 0.19<br>59<br>92 | 0.01<br>92<br>90 | 0.01<br>90<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 41.30<br>00<br>00 | 42.00<br>00<br>00 |  |  |
| 0.43<br>98<br>00  | 0.00<br>00<br>69 | 0.38<br>00<br>05 | 0.00<br>00<br>78 | 53.00<br>00<br>78 | 0.09<br>00<br>78 | 24.92<br>03<br>41 | 24.89<br>41<br>82 | 0.22<br>82<br>52 | 0.22<br>52<br>68 | 0.00<br>68<br>68 | 0.00<br>68<br>04 | 37.38<br>04<br>12 | 37.34<br>12<br>12 | 0.00<br>98<br>98 | 0.00<br>98<br>05 | 1.22<br>05<br>00 | 1.22<br>00<br>38 | 0.00<br>38<br>37 | 0.00<br>37<br>02 | 0.19<br>02<br>50 | 0.19<br>50<br>50 | 0.01<br>90<br>92 | 0.01<br>92<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 0.88<br>18<br>18 | 42.20<br>00<br>00 | 41.20<br>00<br>00 |  |  |

# Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Pipa Dan Pelat Absorber

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 10 derajat

| Tf (K)         |                | $\beta$      |              | Viskostas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) |               | Kec Kinematik $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) |              | Pr           |              | Ra              |                 | Nu           |              | Kond udara (W/mK) |              | h (W/m <sup>2</sup> K) |               | $\epsilon$   | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |              |
|----------------|----------------|--------------|--------------|--|---------------|--|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|------------------------|---------------|--------------|---|-------------------------|--------------|
| 335.55000<br>0 | 346.75000<br>0 | 0.00502<br>4 | 0.00475<br>6 | 0.000020<br>0                                  | 0.000021<br>0 | 0.00002<br>8                               | 0.00003<br>0 | 0.70095<br>7 | 0.69905<br>3 | 1545.79101<br>4 | 1349.68741<br>2 | 2.77551<br>6 | 2.69595<br>0 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.64581<br>6          | 10.34062<br>9 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 7.74573<br>5            | 8.54028<br>8 |
| 339.95000<br>0 | 352.10000<br>0 | 0.00491<br>5 | 0.00463<br>8 | 0.000020<br>0                                  | 0.000021<br>0 | 0.00002<br>9                               | 0.00003<br>1 | 0.70020<br>9 | 0.69814<br>3 | 1500.19186<br>7 | 1379.14072<br>5 | 2.75757<br>1 | 2.70794<br>7 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.57698<br>9          | 10.38664<br>5 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.05638<br>5            | 8.94715<br>8 |
| 349.05000<br>0 | 354.45000<br>0 | 0.00470<br>5 | 0.00458<br>8 | 0.000021<br>0                                  | 0.000022<br>0 | 0.00003<br>0                               | 0.00003<br>1 | 0.69866<br>2 | 0.69774<br>3 | 1548.00208<br>6 | 1286.15202<br>7 | 2.77545<br>3 | 2.66813<br>8 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.64557<br>3          | 10.23395<br>4 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.73426<br>9            | 9.12950<br>6 |
| 350.65000<br>0 | 355.60000<br>0 | 0.00467<br>0 | 0.00456<br>4 | 0.000021<br>0                                  | 0.000022<br>0 | 0.00003<br>1                               | 0.00003<br>1 | 0.69839<br>0 | 0.69754<br>8 | 1544.65631<br>4 | 1299.32939<br>8 | 2.77406<br>5 | 2.67380<br>8 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.64024<br>0          | 10.25570<br>8 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.85681<br>0            | 9.22099<br>0 |
| 344.60000<br>0 | 349.65000<br>0 | 0.00480<br>0 | 0.00480<br>0 | 0.000021<br>0                                  | 0.000021<br>0 | 0.00003<br>0                               | 0.00003<br>0 | 0.69941<br>8 | 0.69856<br>2 | 1471.59733<br>0 | 1300.76996<br>2 | 2.74599<br>2 | 2.67481<br>6 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.53357<br>3          | 10.25957<br>0 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.39466<br>4            | 8.76043<br>2 |
| 340.50000<br>0 | 345.35000<br>0 | 0.00490<br>2 | 0.00478<br>8 | 0.000020<br>0                                  | 0.000021<br>0 | 0.00002<br>9                               | 0.00003<br>0 | 0.70011<br>5 | 0.69929<br>1 | 1233.58150<br>0 | 1023.33645<br>5 | 2.64567<br>3 | 2.54397<br>5 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.14778<br>6          | 9.757713<br>0 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.08380<br>0            | 8.42628<br>7 |

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 20 derajat

| Tf (K)         |                | $\beta$      |              | Viskostas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) |               | Kec Kinematik $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) |              | Pr           |              | Ra              |                 | Nu           |              | Kond udara (W/mK) |              | h (W/m <sup>2</sup> K) |               | $\epsilon$   | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |              |
|----------------|----------------|--------------|--------------|--|---------------|--|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|------------------------|---------------|--------------|---|-------------------------|--------------|
| 337.65000<br>0 | 339.40000<br>0 | 0.00497<br>1 | 0.00492<br>9 | 0.000020<br>0                                  | 0.000020<br>0 | 0.00002<br>8                               | 0.00002<br>9 | 0.70060<br>0 | 0.70030<br>2 | 1528.58272<br>0 | 1603.70303<br>7 | 2.76875<br>9 | 2.79713<br>7 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.61989<br>6          | 10.72874<br>5 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 7.89519<br>7            | 8.02057<br>2 |
| 342.95000<br>0 | 343.90000<br>0 | 0.00484<br>4 | 0.00482<br>2 | 0.000020<br>0                                  | 0.000021<br>0 | 0.00002<br>9                               | 0.00002<br>9 | 0.69969<br>9 | 0.69953<br>7 | 1407.22932<br>0 | 1409.28475<br>1 | 2.72014<br>4 | 2.72092<br>3 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.43342<br>8          | 10.43641<br>8 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.26960<br>8            | 8.33880<br>0 |
| 352.40000<br>0 | 351.10000<br>0 | 0.00463<br>0 | 0.00466<br>0 | 0.000021<br>0                                  | 0.000021<br>0 | 0.00003<br>1                               | 0.00003<br>1 | 0.69809<br>2 | 0.69831<br>3 | 1379.19805<br>5 | 1404.67149<br>2 | 2.70795<br>1 | 2.71855<br>9 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.38666<br>1          | 10.42735<br>0 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.98042<br>6            | 8.88286<br>7 |
| 354.10000<br>0 | 354.45000<br>0 | 0.00459<br>6 | 0.00458<br>8 | 0.000022<br>0                                  | 0.000022<br>0 | 0.00003<br>1                               | 0.00003<br>1 | 0.69780<br>3 | 0.69774<br>4 | 1345.34286<br>3 | 1303.75972<br>6 | 2.69363<br>4 | 2.67580<br>4 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.33174<br>8          | 10.26335<br>5 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 9.11055<br>9            | 9.13475<br>8 |
| 348.95000<br>0 | 350.60000<br>0 | 0.00470<br>0 | 0.00467<br>8 | 0.000021<br>0                                  | 0.000021<br>0 | 0.00003<br>0                               | 0.00003<br>0 | 0.69867<br>9 | 0.69839<br>8 | 1318.75599<br>6 | 1287.88372<br>3 | 2.68262<br>8 | 2.66914<br>3 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.28953<br>8          | 10.23780<br>8 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.71195<br>1            | 8.83458<br>8 |
| 342.90000<br>0 | 342.25000<br>0 | 0.00484<br>5 | 0.00486<br>0 | 0.000020<br>0                                  | 0.000020<br>0 | 0.00002<br>9                               | 0.00002<br>9 | 0.69970<br>7 | 0.69981<br>8 | 1299.98122<br>4 | 1394.63383<br>0 | 2.67490<br>8 | 2.71500<br>9 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.25992<br>2          | 10.41373<br>5 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.26084<br>3            | 8.21827<br>3 |

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 30 derajat

| Tf (K)         |                | $\beta$      |              | Viskostas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) |               | Kec Kinematik $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) |              | Pr           |              | Ra              |                 | Nu           |              | Kond udara (W/mK) |              | h (W/m <sup>2</sup> K) |               | $\epsilon$   | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |              |
|----------------|----------------|--------------|--------------|--|---------------|--|--------------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|------------------------|---------------|--------------|---|-------------------------|--------------|
| 339.55000<br>0 | 341.15000<br>0 | 0.00492<br>5 | 0.00488<br>6 | 0.000020<br>0                                  | 0.000020<br>0 | 0.00002<br>9                               | 0.00002<br>9 | 0.70000<br>5 | 0.70000<br>7 | 1503.09217<br>7 | 1522.31095<br>4 | 2.75873<br>1 | 2.76609<br>9 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.58143<br>2          | 10.60969<br>5 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.02774<br>4            | 8.14303<br>5 |
| 346.15000<br>0 | 345.05000<br>0 | 0.00477<br>0 | 0.00479<br>5 | 0.000021<br>0                                  | 0.000021<br>0 | 0.00003<br>0                               | 0.00003<br>0 | 0.69915<br>5 | 0.69934<br>2 | 1340.12655<br>0 | 1371.69144<br>2 | 2.69195<br>9 | 2.70530<br>3 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.32524<br>4          | 10.37650<br>5 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.50257<br>5            | 8.42329<br>8 |
| 356.50000<br>0 | 355.00000<br>0 | 0.00454<br>5 | 0.00457<br>7 | 0.000022<br>0                                  | 0.000022<br>0 | 0.00003<br>1                               | 0.00003<br>1 | 0.69739<br>5 | 0.69765<br>2 | 1223.56773<br>2 | 1187.01476<br>5 | 2.64012<br>8 | 2.62345<br>7 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.12652<br>0          | 10.06257<br>4 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 9.29096<br>4            | 9.17143<br>8 |
| 357.25000<br>0 | 356.55000<br>0 | 0.00453<br>0 | 0.00454<br>4 | 0.000022<br>0                                  | 0.000022<br>0 | 0.00003<br>0                               | 0.00003<br>0 | 0.69726<br>8 | 0.69738<br>7 | 1217.95860<br>6 | 1222.24385<br>2 | 2.63753<br>2 | 2.63952<br>8 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.11656<br>2          | 10.12420<br>7 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 9.35007<br>9            | 9.29539<br>9 |
| 353.05000<br>0 | 353.75000<br>0 | 0.00461<br>8 | 0.00460<br>3 | 0.000021<br>0                                  | 0.000022<br>0 | 0.00003<br>1                               | 0.00003<br>1 | 0.69798<br>2 | 0.69786<br>3 | 1289.04383<br>4 | 1303.63044<br>6 | 2.66949<br>2 | 2.67665<br>8 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.23914<br>8          | 10.26663<br>5 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 9.02481<br>6            | 9.07984<br>7 |
| 345.85000<br>0 | 344.50000<br>0 | 0.00477<br>7 | 0.00480<br>8 | 0.000021<br>0                                  | 0.000021<br>0 | 0.00003<br>0                               | 0.00003<br>0 | 0.69920<br>6 | 0.69943<br>5 | 1346.23369<br>1 | 1329.13629<br>1 | 2.69454<br>8 | 2.68736<br>4 | 0.02800<br>0      | 0.02800<br>0 | 10.33525<br>1          | 10.30769<br>6 | 0.03000<br>0 | 0.000000<br>0                               | 8.48055<br>5            | 8.38048<br>6 |

# Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Pipa Dan Pelat Absorber (*continued*)

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 10 derajat |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |         |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| At   | Ac    | Ab    | Af    | k     | P     | m     |       | M     | h/km  |       | Ml  | Sinh ml |       | Cosh ml |       | qf    | qmax  | nf    |       | nθ    |       | θb    |       |       |       |       |       |       |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 27.17 | 26.78 | 0.246 | 0.207 | 0.007 | 390 | 37.63   | 40.18 | 0.009   | 0.010 | 1.223 | 1.256 | 0.004 | 0.003 | 0.234 | 0.166 | 0.018 | 0.022 | 0.881 | 0.701 | 0.882 | 41.50 | 30.30 |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 9476  | 7062  | 805   | 843   | 390   | 284 | 4514    | 0593  | 853     | 519   | 592   | 144   | 274   | 716   | 155   | 060   | 251   | 378   | 701   | 198   | 0000  | 0000  |       |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 27.09 | 26.84 | 0.254 | 0.220 | 0.007 | 390 | 37.61   | 40.26 | 0.009   | 0.010 | 1.223 | 1.257 | 0.004 | 0.003 | 0.248 | 0.186 | 0.017 | 0.021 | 0.881 | 0.882 | 44.30 | 33.90 |       |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 1462  | 6597  | 169   | 332   | 366   | 300 | 7542    | 9896  | 848     | 543   | 383   | 330   | 394   | 948   | 337   | 617   | 693   | 157   | 634   | 051   | 0000  | 0000  |       |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 27.17 | 26.64 | 0.265 | 0.243 | 0.007 | 390 | 38.02   | 39.97 | 0.009   | 0.010 | 1.228 | 1.253 | 0.004 | 0.004 | 0.271 | 0.227 | 0.017 | 0.019 | 0.881 | 0.881 | 48.20 | 42.00 |       |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 9166  | 8355  | 980   | 437   | 390   | 246 | 1543    | 2803  | 954     | 465   | 383   | 395   | 633   | 330   | 952   | 808   | 035   | 107   | 554   | 792   | 0000  | 0000  |       |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 27.17 | 26.67 | 0.272 | 0.253 | 0.007 | 390 | 38.27   | 40.01 | 0.010   | 0.010 | 1.231 | 1.253 | 0.004 | 0.004 | 0.286 | 0.247 | 0.016 | 0.018 | 0.881 | 0.881 | 50.80 | 45.50 |       |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 2367  | 6833  | 991   | 647   | 388   | 254 | 8566    | 5250  | 021     | 476   | 595   | 955   | 773   | 516   | 478   | 316   | 661   | 262   | 509   | 702   | 0000  | 0000  |       |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 27.03 | 26.68 | 0.218 | 0.215 | 0.007 | 390 | 37.66   | 40.02 | 0.009   | 0.010 | 1.223 | 1.254 | 0.003 | 0.003 | 0.183 | 0.178 | 0.020 | 0.021 | 0.881 | 0.882 | 32.80 | 32.90 |       |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 4532  | 1865  | 245   | 726   | 351   | 255 | 6717    | 2797  | 861     | 478   | 988   | 055   | 772   | 842   | 098   | 896   | 603   | 476   | 984   | 089   | 0000  | 0000  |       |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.53 | 26.02 | 0.192 | 0.174 | 0.007 | 390 | 36.33   | 39.03 | 0.009   | 0.010 | 1.207 | 1.241 | 0.003 | 0.003 | 0.143 | 0.117 | 0.022 | 0.025 | 0.882 | 0.882 | 26.60 | 22.70 |       |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 6110  | 1099  | 915   | 754   | 215   | 075 | 8707    | 1649  | 514     | 219   | 957   | 151   | 241   | 035   | 063   | 395   | 651   | 851   | 231   | 617   | 0000  | 0000  |       |  |

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 20 derajat |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| At   | Ac    | Ab    | Af    | k     | P     | m     | M     | h/km  | Ml    | Sinh ml | Cosh ml | qf    | qmax  | nf    | n0    | 0b    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |  |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 27.14 | 27.28 | 0.245 | 0.251 | 0.007   | 0.007   | 37.54 | 40.92 | 0.009 | 0.010 | 1.222 | 1.266 | 0.004 | 0.004 | 0.232 | 0.243 | 0.018 | 0.018 | 0.881 | 0.881 | 41.30 | 42.80 |  |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 6368  | 5132  | 910   | 615   | 381     | 419     | 8638  | 7699  | 830   | 715   | 537   | 163   | 250   | 583   | 459   | 371   | 284   | 831   | 705   | 771   | 0000  | 0000  |  |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.90 | 26.91 | 0.249 | 0.250 | 0.007   | 0.007   | 37.20 | 40.36 | 0.009 | 0.010 | 1.218 | 1.258 | 0.004 | 0.004 | 0.238 | 0.241 | 0.017 | 0.018 | 0.881 | 0.881 | 43.20 | 43.60 |  |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 6990  | 0846  | 285   | 472   | 316     | 317     | 7804  | 6269  | 741   | 568   | 375   | 614   | 270   | 499   | 884   | 165   | 874   | 656   | 655   | 750   | 0000  | 0000  |  |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.84 | 26.89 | 0.251 | 0.257 | 0.007   | 0.007   | 37.45 | 40.34 | 0.009 | 0.010 | 1.221 | 1.258 | 0.004 | 0.004 | 0.242 | 0.254 | 0.017 | 0.018 | 0.881 | 0.881 | 44.10 | 46.10 |  |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 6618  | 9151  | 303   | 441   | 300     | 314     | 9558  | 8726  | 807   | 563   | 445   | 380   | 317   | 622   | 767   | 771   | 782   | 143   | 644   | 688   | 0000  | 0000  |  |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.77 | 26.68 | 0.259 | 0.259 | 0.007   | 0.007   | 37.12 | 40.03 | 0.009 | 0.010 | 1.217 | 1.254 | 0.004 | 0.004 | 0.258 | 0.258 | 0.017 | 0.017 | 0.881 | 0.881 | 47.20 | 47.50 |  |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 5556  | 6787  | 298   | 258   | 280     | 256     | 7308  | 0180  | 720   | 480   | 398   | 152   | 427   | 618   | 459   | 380   | 127   | 873   | 565   | 655   | 0000  | 0000  |  |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.72 | 26.65 | 0.231 | 0.231 | 0.007   | 0.007   | 36.85 | 39.98 | 0.009 | 0.010 | 1.214 | 1.253 | 0.003 | 0.004 | 0.205 | 0.206 | 0.019 | 0.019 | 0.881 | 0.881 | 37.70 | 38.10 |  |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 0799  | 3552  | 265   | 903   | 266     | 247     | 6016  | 0328  | 649   | 467   | 124   | 494   | 928   | 126   | 595   | 332   | 105   | 956   | 804   | 906   | 0000  | 0000  |  |  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.68 | 26.88 | 0.224 | 0.225 | 0.007   | 0.007   | 37.10 | 40.32 | 0.009 | 0.010 | 1.217 | 1.253 | 0.003 | 0.004 | 0.193 | 0.195 | 0.019 | 0.020 | 0.881 | 0.881 | 35.60 | 35.50 |  |  |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 2322  | 1584  | 408   | 766   | 255     | 309     | 1643  | 2377  | 713   | 557   | 087   | 029   | 824   | 051   | 584   | 934   | 752   | 675   | 882   | 993   | 0000  | 0000  |  |  |

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 30 derajat |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |         |       |         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| At   | Ac    | Ab    | Af    | k     | P     | m     |       | M     | h/km  |       | Ml    | Sinh ml |       | Cosh ml |       | qf    | qmax  | nf    |       | n0    |       | ob    |       |       |       |       |       |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 27.09 | 27.13 | 0.248 | 0.246 | 0.007 | 0.007 | 37.61   | 40.69 | 0.009   | 0.010 | 1.223 | 1.263 | 0.004 | 0.004 | 0.236 | 0.234 | 0.018 | 0.019 | 0.881 | 0.881 | 42.20 | 41.70 |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 7164  | 3328  | 124   | 979   | 368   | 378   | 8308    | 9991  | 849     | 655   | 393   | 087   | 290   | 473   | 664   | 485   | 126   | 077   | 686   | 800   | 0000  | 0000  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.76 | 26.83 | 0.244 | 0.248 | 0.007 | 0.007 | 37.10   | 40.25 | 0.009   | 0.010 | 1.217 | 1.257 | 0.004 | 0.004 | 0.230 | 0.238 | 0.018 | 0.018 | 0.881 | 0.881 | 42.10 | 43.30 |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 7127  | 3490  | 811   | 891   | 278   | 296   | 5855    | 0234  | 714     | 538   | 138   | 069   | 177   | 458   | 387   | 130   | 132   | 720   | 686   | 757   | 0000  | 0000  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.50 | 26.42 | 0.236 | 0.235 | 0.007 | 0.007 | 36.36   | 39.63 | 0.009   | 0.010 | 1.208 | 1.248 | 0.003 | 0.004 | 0.215 | 0.212 | 0.018 | 0.019 | 0.881 | 0.881 | 40.10 | 39.90 |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 8290  | 4462  | 615   | 278   | 208   | 185   | 5119    | 6693  | 521     | 377   | 269   | 984   | 974   | 150   | 219   | 793   | 467   | 500   | 727   | 851   | 0000  | 0000  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.49 | 26.50 | 0.250 | 0.255 | 0.007 | 0.007 | 36.25   | 39.75 | 0.009   | 0.010 | 1.206 | 1.250 | 0.004 | 0.004 | 0.241 | 0.250 | 0.017 | 0.018 | 0.881 | 0.881 | 45.00 | 46.60 |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 5252  | 5258  | 532   | 043   | 204   | 207   | 0051    | 7887  | 490     | 409   | 910   | 569   | 200   | 512   | 280   | 048   | 406   | 044   | 599   | 676   | 0000  | 0000  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.65 | 26.69 | 0.241 | 0.243 | 0.007 | 0.007 | 37.01   | 40.03 | 0.009   | 0.010 | 1.216 | 1.254 | 0.004 | 0.004 | 0.224 | 0.228 | 0.018 | 0.019 | 0.881 | 0.881 | 41.30 | 42.00 |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 5297  | 1051  | 461   | 826   | 248   | 257   | 7263    | 6576  | 691     | 482   | 067   | 257   | 107   | 344   | 125   | 535   | 325   | 007   | 710   | 792   | 0000  | 0000  |
| 0.439  | 0.000 | 0.386 | 0.000 | 53.00 | 0.097 | 26.78 | 26.74 | 0.245 | 0.241 | 0.007 | 0.007 | 37.38   | 40.11 | 0.009   | 0.010 | 1.220 | 1.255 | 0.004 | 0.004 | 0.231 | 0.225 | 0.018 | 0.019 | 0.881 | 0.881 | 42.20 | 41.20 |
| 840  | 0.027 | 850   | 530   | 0.000 | 812   | 0095  | 4372  | 221   | 975   | 282   | 272   | 0406    | 6538  | 786     | 503   | 477   | 295   | 203   | 320   | 158   | 079   | 182   | 191   | 693   | 814   | 0000  | 0000  |

# Perhitungan Perpan Konduksi Konveksi Pada Pipa Ke Fluida

| Perpan Konduksi Konveksi pada pipa ke fluida 10 derajat |           |          |          |          |            |            |          |          |          |          |          |           |           |              |              |            |            |             |             |
|---|-----------|----------|----------|----------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Tf  | t         | Do       | Di       | p        | μ          | V          | Pr       | k        | Re       | Nu       | h        |           |           |              |              |            |            |             |             |
| 32.800000   | 32.900000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 994.880000 | 994.840000 | 0.000774 | 0.000773 | 1.572698 | 5.232260 | 5.232260 | 44.900000 | 44.950000 | 30307.712295 | 30360.991252 | 153.653647 | 153.768673 | 6432.966025 | 6437.781763 |
| 34.950000   | 34.550000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 994.020000 | 994.060000 | 0.000744 | 0.000746 | 1.572698 | 5.011150 | 5.021450 | 45.975000 | 45.925000 | 31497.052859 | 31439.621472 | 156.191084 | 156.069988 | 6539.200067 | 6534.130166 |
| 36.150000   | 36.250000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 993.380000 | 993.500000 | 0.000722 | 0.000726 | 1.572698 | 4.846350 | 4.877250 | 46.775000 | 46.625000 | 32446.020509 | 32263.663006 | 158.171626 | 157.793986 | 6632.118731 | 6606.308211 |
| 37.550000   | 37.650000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 992.980000 | 992.940000 | 0.000708 | 0.000707 | 1.572698 | 4.743350 | 4.733050 | 47.275000 | 47.325000 | 33069.385202 | 33133.069863 | 159.452178 | 159.582112 | 6675.731198 | 6681.171079 |
| 39.500000   | 39.600000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 992.280000 | 992.160000 | 0.000684 | 0.000680 | 1.572698 | 4.563100 | 4.533200 | 48.150000 | 48.300000 | 34221.254487 | 34426.970508 | 161.777345 | 162.187198 | 6773.078158 | 6790.237556 |
| 40.650000   | 40.850000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 991.740000 | 991.660000 | 0.000665 | 0.000662 | 1.572698 | 4.424050 | 4.403450 | 48.825000 | 48.925000 | 35167.357628 | 35312.082440 | 163.648854 | 163.932171 | 6851.432024 | 6863.295347 |

| Perpan Konduksi Konveksi pada pipa ke fluida 20 derajat |           |          |          |          |            |            |          |          |          |          |          |           |           |              |              |            |            |             |             |
|---|-----------|----------|----------|----------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Tf  | t         | Do       | Di       | p        | μ          | V          | Pr       | k        | Re       | Nu       | h        |           |           |              |              |            |            |             |             |
| 33.150000   | 32.950000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 994.740000 | 994.820000 | 0.000770 | 0.000772 | 1.572698 | 5.196550 | 5.217150 | 47.307500 | 44.975000 | 30495.030741 | 30387.702651 | 154.057484 | 153.826292 | 6449.873315 | 6440.194095 |
| 35.500000   | 35.700000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 993.800000 | 993.720000 | 0.000737 | 0.000734 | 1.572698 | 4.954500 | 4.933900 | 46.250000 | 46.350000 | 31816.799267 | 31934.721896 | 156.862682 | 157.109264 | 6567.317637 | 6577.641191 |
| 37.150000   | 37.050000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 993.140000 | 993.180000 | 0.000714 | 0.000715 | 1.572698 | 4.784350 | 4.794850 | 47.075000 | 47.025000 | 32817.126451 | 32754.674508 | 158.935889 | 158.807670 | 6654.115887 | 6648.747800 |
| 38.300000   | 38.650000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 992.680000 | 992.540000 | 0.000698 | 0.000693 | 1.572698 | 4.666100 | 4.630050 | 47.650000 | 47.825000 | 33553.203350 | 33783.966220 | 160.435218 | 160.900812 | 6716.887779 | 6736.380681 |
| 39.650000   | 40.000000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 992.140000 | 992.000000 | 0.000679 | 0.000674 | 1.572698 | 4.527050 | 4.491000 | 48.325000 | 48.500000 | 34461.505467 | 34705.243504 | 162.255837 | 162.738983 | 6793.111053 | 6813.338757 |
| 41.100000   | 41.350000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 991.560000 | 991.460000 | 0.000659 | 0.000656 | 1.572698 | 4.377700 | 4.351950 | 49.050000 | 49.175000 | 35494.705525 | 35679.264786 | 164.288575 | 164.647517 | 6878.215020 | 6893.242712 |

| Perpan Konduksi Konveksi pada pipa ke fluida 30 derajat |           |          |          |          |            |            |          |          |          |          |          |           |           |              |              |            |            |             |             |
|---|-----------|----------|----------|----------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Tf  | t         | Do       | Di       | p        | μ          | V          | Pr       | k        | Re       | Nu       | h        |           |           |              |              |            |            |             |             |
| 33.350000   | 33.150000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 994.660000 | 994.740000 | 0.000767 | 0.000770 | 1.572698 | 5.175950 | 5.196550 | 45.175000 | 45.075000 | 30603.137125 | 30495.030741 | 154.289825 | 154.057484 | 6459.600658 | 6449.873315 |
| 36.250000   | 36.450000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 993.500000 | 993.420000 | 0.000726 | 0.000724 | 1.572698 | 4.877250 | 4.856650 | 46.625000 | 46.725000 | 32263.663006 | 32385.001156 | 157.793986 | 158.045416 | 6606.308211 | 6616.834767 |
| 38.350000   | 38.100000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 992.660000 | 992.760000 | 0.000697 | 0.000701 | 1.572698 | 4.660950 | 4.686700 | 47.675000 | 47.550000 | 33585.972311 | 33422.777542 | 160.501461 | 160.171134 | 6719.661186 | 6705.831496 |
| 39.450000   | 39.700000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 992.220000 | 992.120000 | 0.000682 | 0.000678 | 1.572698 | 4.547650 | 4.521900 | 48.225000 | 48.350000 | 34323.787986 | 34496.111178 | 161.981848 | 162.324571 | 6781.640028 | 6795.988726 |
| 41.000000   | 41.400000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 991.600000 | 991.540000 | 0.000660 | 0.000655 | 1.572698 | 4.388900 | 4.346800 | 49.000000 | 49.200000 | 35421.425662 | 35716.411691 | 164.185711 | 164.719612 | 6872.237553 | 6896.261106 |
| 41.650000   | 41.950000 | 0.000550 | 0.015400 | 0.015000 | 991.340000 | 991.220000 | 0.000651 | 0.000647 | 1.572698 | 4.321050 | 4.290150 | 49.325000 | 49.475000 | 35903.555280 | 36130.293252 | 165.081638 | 165.519507 | 6911.417904 | 6920.750026 |

Perhitungan Perpan Bagian Bawah Kolektor

| Perpan bagian bawah 10 derajat |            |           |          |          |          |           |          |
|--------------------------------|------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|
| k abs                          |            | k triplek | k gw     | R abs    |          | R triplek | R gw     |
| 112.477000                     | 112.141000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 112.291500                     | 111.882000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 111.822500                     | 111.773500 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 111.745500                     | 111.707000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 112.085000                     | 111.987000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 112.410500                     | 112.340500 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| Perpan bagian bawah 20 derajat |            |           |          |          |          |           |          |
| k abs                          |            | k triplek | k gw     | R abs    |          | R triplek | R gw     |
| 112.386000                     | 112.277500 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 112.200500                     | 112.162000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 111.766500                     | 111.801500 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 111.707000                     | 111.721000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 111.969500                     | 111.924000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 112.263500                     | 112.235500 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| Perpan bagian bawah 30 derajat |            |           |          |          |          |           |          |
| k abs                          |            | k triplek | k gw     | R abs    |          | R triplek | R gw     |
| 112.309000                     | 112.235500 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 112.088500                     | 112.113000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 111.675500                     | 111.759500 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 111.644000                     | 111.668500 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 111.794500                     | 111.756000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |
| 112.099000                     | 112.162000 | 0.170000  | 0.037000 | 0.000018 | 0.000018 | 0.023529  | 2.702703 |

# Perhitungan Koefisien Rugi Panas Menyeluruh

Koefisien rugi panas menyeluruh 10 derajat

| R Kaca-lengkungan |          | R Pipa-Kaca |          | R Pipa-Absorber |          | R Absorber-Kaca |          | R Pipa-Fluida |          | R Dalam Kolektor |          | R Bag Atas |          | R Bag Bawah |          | U Atas   |           | U Bawah  |          | U Total  |           |
|-------------------|----------|-------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|---------------|----------|------------------|----------|------------|----------|-------------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| 0.118525          | 0.085510 | 0.097061    | 0.097902 | 0.084216        | 0.079664 | 0.025644        | 0.024416 | 0.001469      | 0.001468 | 0.022488         | 0.021486 | 0.141013   | 0.106995 | 2.726250    | 2.726250 | 7.091534 | 9.346199  | 0.366804 | 0.366804 | 7.458339 | 9.713003  |
| 0.092504          | 0.097989 | 0.094702    | 0.093598 | 0.082251        | 0.077061 | 0.025611        | 0.024257 | 0.001437      | 0.001438 | 0.022396         | 0.021261 | 0.114900   | 0.119250 | 2.726250    | 2.726250 | 8.703199 | 8.385744  | 0.366804 | 0.366804 | 9.070003 | 8.752548  |
| 0.112529          | 0.085021 | 0.090102    | 0.089800 | 0.077748        | 0.076343 | 0.025077        | 0.025038 | 0.001414      | 0.001418 | 0.021841         | 0.021783 | 0.134370   | 0.106804 | 2.726250    | 2.726250 | 7.442139 | 9.362910  | 0.366804 | 0.366804 | 7.808943 | 9.729714  |
| 0.120646          | 0.077932 | 0.088532    | 0.088349 | 0.077028        | 0.075768 | 0.025261        | 0.025181 | 0.001400      | 0.001398 | 0.021942         | 0.021856 | 0.142588   | 0.099788 | 2.726250    | 2.726250 | 7.013222 | 10.021280 | 0.366804 | 0.366804 | 7.380026 | 10.388084 |
| 0.092842          | 0.092245 | 0.092219    | 0.091582 | 0.080124        | 0.078487 | 0.025521        | 0.025319 | 0.001375      | 0.001371 | 0.022252         | 0.022061 | 0.115094   | 0.114306 | 2.726250    | 2.726250 | 8.688559 | 8.748442  | 0.366804 | 0.366804 | 9.055363 | 9.115247  |
| 0.101627          | 0.087326 | 0.095526    | 0.095286 | 0.083184        | 0.081871 | 0.026195        | 0.026250 | 0.001357      | 0.001354 | 0.022868         | 0.022885 | 0.124495   | 0.110211 | 2.726250    | 2.726250 | 8.032468 | 9.073521  | 0.366804 | 0.366804 | 8.399272 | 9.440325  |

Koefisien rugi panas menyeluruh 20 derajat

| R Kaca-lengkungan |          | R Pipa-Kaca |          | R Pipa-Absorber |          | R Absorber-Kaca |          | R Pipa-Fluida |          | R Dalam Kolektor |          | R Bag Atas |          | R Bag Bawah |          | U Atas   |          | U Bawah  |          | U Total  |          |
|-------------------|----------|-------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|---------------|----------|------------------|----------|------------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.111296          | 0.111518 | 0.096230    | 0.096079 | 0.083252        | 0.082091 | 0.025527        | 0.025014 | 0.001409      | 0.001467 | 0.022370         | 0.021957 | 0.133667   | 0.133475 | 2.726250    | 2.726250 | 7.481298 | 7.492032 | 0.366804 | 0.366804 | 7.848102 | 7.858837 |
| 0.102106          | 0.093179 | 0.093697    | 0.093327 | 0.081198        | 0.080734 | 0.025616        | 0.025516 | 0.001429      | 0.001426 | 0.022366         | 0.022277 | 0.124473   | 0.115456 | 2.726250    | 2.726250 | 8.033889 | 8.661305 | 0.366804 | 0.366804 | 8.400693 | 9.028109 |
| 0.093995          | 0.103024 | 0.088595    | 0.088725 | 0.076875        | 0.077360 | 0.025381        | 0.025515 | 0.001405      | 0.001407 | 0.022030         | 0.022142 | 0.116025   | 0.125166 | 2.726250    | 2.726250 | 8.618818 | 7.989369 | 0.366804 | 0.366804 | 8.985622 | 8.356174 |
| 0.095100          | 0.093654 | 0.088541    | 0.088083 | 0.076239        | 0.076250 | 0.025179        | 0.025363 | 0.001389      | 0.001384 | 0.021865         | 0.021996 | 0.116965   | 0.115651 | 2.726250    | 2.726250 | 8.549550 | 8.646737 | 0.366804 | 0.366804 | 8.916354 | 9.013541 |
| 0.090357          | 0.096917 | 0.091176    | 0.091241 | 0.078723        | 0.078090 | 0.025475        | 0.025275 | 0.001370      | 0.001366 | 0.022177         | 0.022015 | 0.112513   | 0.118932 | 2.726250    | 2.726250 | 8.887853 | 8.408153 | 0.366804 | 0.366804 | 9.254658 | 8.774957 |
| 0.103504          | 0.089749 | 0.092877    | 0.093008 | 0.081697        | 0.081578 | 0.026257        | 0.026002 | 0.001351      | 0.001348 | 0.022847         | 0.022654 | 0.126352   | 0.112403 | 2.726250    | 2.726250 | 7.914410 | 8.896534 | 0.366804 | 0.366804 | 8.281214 | 9.263339 |

Koefisien rugi panas menyeluruh 30 derajat

| R Kaca-lengkungan |          | R Pipa-Kaca |          | R Pipa-Absorber |          | R Absorber-Kaca |          | R Pipa-Fluida |          | R Dalam Kolektor |          | R Bag Atas |          | R Bag Bawah |          | U Atas   |          | U Bawah  |          | U Total  |          |
|-------------------|----------|-------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|---------------|----------|------------------|----------|------------|----------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 0.128387          | 0.107781 | 0.094903    | 0.094629 | 0.082432        | 0.081579 | 0.025621        | 0.025322 | 0.001461      | 0.001464 | 0.022410         | 0.022163 | 0.150797   | 0.129944 | 2.726250    | 2.726250 | 6.631432 | 7.695604 | 0.366804 | 0.366804 | 6.998236 | 8.062408 |
| 0.096200          | 0.086204 | 0.091873    | 0.092005 | 0.079957        | 0.080337 | 0.025747        | 0.025820 | 0.001418      | 0.001415 | 0.022416         | 0.022479 | 0.118616   | 0.108683 | 2.726250    | 2.726250 | 8.430588 | 9.201048 | 0.366804 | 0.366804 | 8.797393 | 9.567852 |
| 0.098729          | 0.091190 | 0.088289    | 0.088603 | 0.075653        | 0.076485 | 0.025199        | 0.025530 | 0.001388      | 0.001392 | 0.021866         | 0.022135 | 0.120596   | 0.113326 | 2.726250    | 2.726250 | 8.292176 | 8.824130 | 0.366804 | 0.366804 | 8.658980 | 9.190934 |
| 0.092649          | 0.087378 | 0.088235    | 0.087902 | 0.075341        | 0.075634 | 0.025102        | 0.025280 | 0.001373      | 0.001370 | 0.021786         | 0.021920 | 0.114435   | 0.109298 | 2.726250    | 2.726250 | 8.738571 | 9.149340 | 0.366804 | 0.366804 | 9.105375 | 9.516144 |
| 0.086545          | 0.107051 | 0.088615    | 0.088294 | 0.076949        | 0.076560 | 0.025535        | 0.025423 | 0.001352      | 0.001347 | 0.022147         | 0.022050 | 0.108692   | 0.129102 | 2.726250    | 2.726250 | 9.200328 | 7.745842 | 0.366804 | 0.366804 | 9.567132 | 8.112646 |
| 0.102953          | 0.091164 | 0.091214    | 0.091869 | 0.080073        | 0.080786 | 0.026000        | 0.026169 | 0.001344      | 0.001340 | 0.022597         | 0.022748 | 0.125550   | 0.113912 | 2.726250    | 2.726250 | 7.964945 | 8.778699 | 0.366804 | 0.366804 | 8.331749 | 9.145503 |

# Perhitungan Faktor Pelepasan Panas

Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 10 derajat

| Jam         | kp (W/mK)  |            | W (m)    | δp (m)   | D (m)    | Cp          |             | Ae       | n        |          | κ        |          | γ         |           | R        |          |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 09.00-10.00 | 126.760000 | 126.280000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.080000 | 4178.090000 | 0.750000 | 1.800961 | 2.059130 | 0.147645 | 0.128453 | -6.978334 | -9.100937 | 0.003300 | 0.003298 |
| 10.00-11.00 | 126.495000 | 125.910000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.295000 | 4178.285000 | 0.750000 | 1.988114 | 1.957544 | 0.133715 | 0.135282 | -8.456165 | -8.193595 | 0.003247 | 0.003249 |
| 11.00-12.00 | 125.825000 | 125.755000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.455000 | 4178.425000 | 0.750000 | 1.849639 | 2.065198 | 0.142994 | 0.127495 | -7.333974 | -9.158373 | 0.003206 | 0.003214 |
| 12.00-13.00 | 125.715000 | 125.660000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.555000 | 4178.565000 | 0.750000 | 1.798911 | 2.134733 | 0.146578 | 0.122582 | -6.963775 | -9.844221 | 0.003180 | 0.003178 |
| 13.00-14.00 | 126.200000 | 126.060000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.730000 | 4178.760000 | 0.750000 | 1.988830 | 1.996503 | 0.133352 | 0.132658 | -8.462414 | -8.529755 | 0.003135 | 0.003127 |
| 14.00-15.00 | 126.665000 | 126.565000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.865000 | 4178.885000 | 0.750000 | 1.911907 | 2.027734 | 0.139398 | 0.130964 | -7.817590 | -8.809734 | 0.003099 | 0.003093 |

Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 20 derajat

| Jam         | kp (W/mK)  |            | W (m)    | δp (m)   | D (m)    | Cp          |             | Ae       | n        |          | κ        |          | γ         |           | R        |          |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 09.00-10.00 | 126.630000 | 126.475000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.115000 | 4178.095000 | 0.750000 | 1.848367 | 1.850764 | 0.144002 | 0.143650 | -7.324440 | -7.342423 | 0.003292 | 0.003297 |
| 10.00-11.00 | 126.365000 | 126.310000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.350000 | 4178.370000 | 0.750000 | 1.914337 | 1.984969 | 0.138891 | 0.133745 | -7.837141 | -8.428749 | 0.003233 | 0.003228 |
| 11.00-12.00 | 125.745000 | 125.795000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.515000 | 4178.505000 | 0.750000 | 1.984737 | 1.913579 | 0.133163 | 0.138319 | -8.426727 | -7.831033 | 0.003191 | 0.003193 |
| 12.00-13.00 | 125.660000 | 125.680000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.630000 | 4178.665000 | 0.750000 | 1.977741 | 1.988332 | 0.133571 | 0.132838 | -8.366087 | -8.458068 | 0.003161 | 0.003152 |
| 13.00-14.00 | 126.035000 | 125.970000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.765000 | 4178.800000 | 0.750000 | 2.011912 | 1.959581 | 0.131536 | 0.135200 | -8.666703 | -8.210824 | 0.003125 | 0.003116 |
| 14.00-15.00 | 126.455000 | 126.415000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.910000 | 4178.935000 | 0.750000 | 1.899999 | 2.009827 | 0.140052 | 0.132081 | -7.722526 | -8.648045 | 0.003087 | 0.003080 |

Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 30 derajat

| Jam         | kp (W/mK)  |            | W (m)    | δp (m)   | D (m)    | Cp          |             | Ae       | n        |          | κ        |          | γ         |           | R        |          |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 09.00-10.00 | 126.520000 | 126.415000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.135000 | 4178.115000 | 0.750000 | 1.746180 | 1.875026 | 0.151420 | 0.141807 | -6.600362 | -7.527163 | 0.003287 | 0.003292 |
| 10.00-11.00 | 126.205000 | 126.240000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.425000 | 4178.445000 | 0.750000 | 1.960257 | 2.044010 | 0.135404 | 0.129478 | -8.216548 | -8.959457 | 0.003214 | 0.003209 |
| 11.00-12.00 | 125.615000 | 125.735000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.635000 | 4178.610000 | 0.750000 | 1.949337 | 2.007364 | 0.135552 | 0.131545 | -8.124588 | -8.626042 | 0.003160 | 0.003166 |
| 12.00-13.00 | 125.570000 | 125.605000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.745000 | 4178.770000 | 0.750000 | 1.999311 | 2.043626 | 0.131943 | 0.128853 | -8.554541 | -8.955890 | 0.003131 | 0.003124 |
| 13.00-14.00 | 125.785000 | 125.730000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.900000 | 4178.940000 | 0.750000 | 2.047627 | 1.885976 | 0.128757 | 0.140244 | -8.993086 | -7.612163 | 0.003089 | 0.003079 |
| 14.00-15.00 | 126.220000 | 126.310000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.965000 | 4178.995000 | 0.750000 | 1.907560 | 1.997833 | 0.139223 | 0.132826 | -7.782746 | -8.541491 | 0.003072 | 0.003064 |



Perhitungan Faktor Pelepasan Panas (*continued*)

| Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 10 derajat |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| κR  |          | F1       |          | F2       |          | F3       |          | F4       |          | F5        |           | F6       |          | FR       |          |
| 0.000487                                      | 0.000424 | 0.629298 | 0.569398 | 0.166798 | 0.123027 | 0.003049 | 0.003593 | 5.911275 | 8.066566 | 10.906537 | 15.194880 | 0.916013 | 0.938252 | 0.723002 | 0.697776 |
| 0.000434                                      | 0.000440 | 0.584332 | 0.591087 | 0.133692 | 0.138583 | 0.003445 | 0.003363 | 7.412719 | 7.146275 | 13.892586 | 13.362178 | 0.932852 | 0.930373 | 0.704703 | 0.707700 |
| 0.000458                                      | 0.000410 | 0.616750 | 0.568229 | 0.157433 | 0.122171 | 0.003133 | 0.003596 | 6.272698 | 8.123920 | 11.624606 | 15.309155 | 0.920790 | 0.938685 | 0.718283 | 0.697236 |
| 0.000466                                      | 0.000390 | 0.629928 | 0.554673 | 0.167227 | 0.112685 | 0.003025 | 0.003750 | 5.895683 | 8.817779 | 10.875572 | 16.692081 | 0.915794 | 0.943478 | 0.723267 | 0.690536 |
| 0.000418                                      | 0.000415 | 0.584247 | 0.582594 | 0.133596 | 0.132400 | 0.003445 | 0.003458 | 7.418176 | 7.486364 | 13.903450 | 14.039222 | 0.932901 | 0.933507 | 0.704686 | 0.703944 |
| 0.000432                                      | 0.000405 | 0.601643 | 0.575979 | 0.146258 | 0.127648 | 0.003292 | 0.003543 | 6.763711 | 7.769952 | 12.600946 | 14.603990 | 0.926476 | 0.935914 | 0.712206 | 0.700906 |

| Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 20 derajat |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| κR  |          | F1       |          | F2       |          | F3       |          | F4       |          | F5        |           | F6       |          | FR       |          |
| 0.000474                                      | 0.000474 | 0.617099 | 0.616405 | 0.157656 | 0.157208 | 0.003146 | 0.003147 | 6.263602 | 6.281903 | 11.606527 | 11.642903 | 0.920676 | 0.920904 | 0.718359 | 0.718125 |
| 0.000449                                      | 0.000432 | 0.600999 | 0.585030 | 0.145822 | 0.134190 | 0.003283 | 0.003435 | 6.784380 | 7.384741 | 12.642062 | 13.836882 | 0.926697 | 0.932600 | 0.711923 | 0.705022 |
| 0.000425                                      | 0.000442 | 0.585111 | 0.601208 | 0.134233 | 0.145960 | 0.003421 | 0.003268 | 7.382316 | 6.777829 | 13.832054 | 12.629031 | 0.932578 | 0.926627 | 0.705072 | 0.712025 |
| 0.000422                                      | 0.000419 | 0.586661 | 0.584353 | 0.135344 | 0.133673 | 0.003405 | 0.003429 | 7.320588 | 7.413799 | 13.709161 | 13.894736 | 0.932015 | 0.932862 | 0.705769 | 0.704739 |
| 0.000411                                      | 0.000421 | 0.579300 | 0.590708 | 0.130031 | 0.138268 | 0.003491 | 0.003376 | 7.625163 | 7.162841 | 14.315619 | 13.395150 | 0.934707 | 0.930532 | 0.702444 | 0.707553 |
| 0.000432                                      | 0.000407 | 0.604472 | 0.579764 | 0.148332 | 0.130354 | 0.003262 | 0.003500 | 6.667049 | 7.605978 | 12.408677 | 14.277411 | 0.925421 | 0.934544 | 0.713381 | 0.702658 |

| Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 30 derajat |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |           |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| κR  |          | F1       |          | F2       |          | F3       |          | F4       |          | F5        |           | F6       |          | FR       |          |
| 0.000498                                      | 0.000467 | 0.644410 | 0.610386 | 0.178079 | 0.152751 | 0.002930 | 0.003197 | 5.525717 | 6.469757 | 10.141192 | 12.016340 | 0.910243 | 0.923173 | 0.728380 | 0.715750 |
| 0.000435                                      | 0.000415 | 0.590496 | 0.572540 | 0.138145 | 0.125229 | 0.003379 | 0.003563 | 7.169370 | 7.922500 | 13.408145 | 14.907862 | 0.930595 | 0.937138 | 0.707442 | 0.699283 |
| 0.000428                                      | 0.000416 | 0.592392 | 0.580247 | 0.139940 | 0.130722 | 0.003342 | 0.003471 | 7.075584 | 7.584205 | 13.221483 | 14.234052 | 0.929684 | 0.934358 | 0.708544 | 0.702877 |
| 0.000413                                      | 0.000403 | 0.581994 | 0.572679 | 0.131966 | 0.125298 | 0.003451 | 0.003549 | 7.511429 | 7.918071 | 14.089132 | 14.899038 | 0.933727 | 0.937103 | 0.703680 | 0.699371 |
| 0.000398                                      | 0.000432 | 0.571875 | 0.607853 | 0.124718 | 0.150816 | 0.003565 | 0.003214 | 7.955580 | 6.554767 | 14.973602 | 12.185375 | 0.937397 | 0.924158 | 0.698993 | 0.714773 |
| 0.000428                                      | 0.000407 | 0.602690 | 0.582341 | 0.147016 | 0.132021 | 0.003273 | 0.003471 | 6.728085 | 7.497837 | 12.530079 | 14.062066 | 0.926091 | 0.933608 | 0.712652 | 0.703835 |

Perhitungan Energi Dan Efisiensi

| Energi dan efisiensi 10 derajat |        |           |        |                       |        |                  |       |
|---------------------------------|--------|-----------|--------|-----------------------|--------|------------------|-------|
| Qu solar kolektor               |        | Qu Losses |        | Qu solar water heater |        | η solar kolektor |       |
| 272.07                          | 264.61 | 179.68    | 172.22 | 92.39                 | 92.39  | 55.23            | 54.25 |
| 284.55                          | 286.21 | 169.16    | 170.82 | 115.39                | 115.39 | 55.38            | 54.89 |
| 337.08                          | 334.28 | 175.64    | 172.82 | 161.44                | 161.46 | 54.31            | 52.93 |
| 363.09                          | 315.86 | 155.60    | 108.39 | 207.48                | 207.47 | 55.07            | 49.64 |
| 278.48                          | 282.72 | 94.18     | 98.44  | 184.30                | 184.28 | 49.27            | 49.02 |
| 230.31                          | 228.21 | 72.14     | 70.05  | 158.17                | 158.16 | 48.08            | 46.55 |

| Energi dan efisiensi 20 derajat |        |           |        |                       |        |                  |       |
|---------------------------------|--------|-----------|--------|-----------------------|--------|------------------|-------|
| Qu solar kolektor               |        | Qu Losses |        | Qu solar water heater |        | η solar kolektor |       |
| 302.67                          | 280.36 | 187.19    | 164.88 | 115.47                | 115.48 | 56.10            | 55.52 |
| 306.17                          | 292.20 | 167.73    | 153.78 | 138.44                | 138.43 | 54.60            | 53.09 |
| 337.41                          | 331.28 | 129.89    | 123.76 | 207.52                | 207.52 | 52.92            | 52.83 |
| 342.55                          | 329.16 | 112.09    | 75.68  | 230.47                | 253.48 | 52.91            | 51.84 |
| 291.52                          | 315.15 | 94.21     | 94.84  | 197.31                | 220.31 | 51.36            | 51.00 |
| 243.24                          | 205.27 | 59.08     | 44.14  | 184.17                | 161.13 | 49.81            | 48.67 |

| Energi dan efisiensi 30 derajat |        |           |        |                       |        |                  |       |
|---------------------------------|--------|-----------|--------|-----------------------|--------|------------------|-------|
| Qu solar kolektor               |        | Qu Losses |        | Qu solar water heater |        | η solar kolektor |       |
| 292.69                          | 292.38 | 131.04    | 130.72 | 161.65                | 161.66 | 54.45            | 55.24 |
| 287.12                          | 275.11 | 79.53     | 67.54  | 207.59                | 207.58 | 52.94            | 53.01 |
| 319.20                          | 318.91 | 65.69     | 78.42  | 253.51                | 240.49 | 52.45            | 53.45 |
| 326.07                          | 337.29 | 82.67     | 70.89  | 243.40                | 266.40 | 49.75            | 51.41 |
| 283.19                          | 313.39 | 52.97     | 83.21  | 230.22                | 230.18 | 47.51            | 51.40 |
| 238.83                          | 222.63 | 41.69     | 25.52  | 197.14                | 197.12 | 47.63            | 46.76 |

**DUA KACA PENUTUP**

# Data Percobaan

## Sudut Kemiringan 10°

| Jam   | I (W/m <sup>2</sup> ) |      | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | V <sub>x</sub> (m/s) |      | Tk1 (°C) |       | Tk2 (°C) |       | T <sub>±1</sub> (°C) |       | T <sub>±2</sub> (°C) |       | T <sub>±3</sub> (°C) |       | T <sub>abs</sub> (°C) |       | TP (°C) |       | TT (°C) |       | Ti (°C) |       | To (°C) |       |
|-------|-----------------------|------|-----------------------|--------|----------------------|------|----------|-------|----------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|-----------------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 09.00 | 4.50                  | 4.60 | 588.24                | 601.31 | 0.50                 | 1.60 | 40.20    | 40.90 | 78.50    | 71.30 | 36.50                | 35.50 | 68.00                | 73.00 | 69.90                | 63.30 | 79.70                 | 72.80 | 44.40   | 49.60 | 35.60   | 35.40 | 32.20   | 32.10 | 32.80   | 32.70 |
| 10.00 | 5.20                  | 5.30 | 679.74                | 692.81 | 0.20                 | 1.20 | 51.70    | 42.40 | 87.90    | 79.20 | 40.00                | 36.00 | 76.00                | 79.00 | 77.70                | 71.80 | 89.10                 | 83.00 | 48.50   | 51.40 | 37.80   | 34.80 | 34.00   | 32.70 | 34.70   | 33.40 |
| 11.00 | 5.80                  | 5.90 | 758.17                | 771.24 | 1.30                 | 2.20 | 50.90    | 43.10 | 95.10    | 84.10 | 38.00                | 36.00 | 78.00                | 82.00 | 83.70                | 76.20 | 96.40                 | 88.40 | 50.40   | 54.80 | 38.50   | 36.60 | 35.20   | 34.40 | 36.20   | 35.40 |
| 12.00 | 6.20                  | 6.10 | 810.46                | 797.39 | 1.50                 | 2.50 | 51.00    | 42.50 | 98.40    | 84.70 | 35.30                | 34.00 | 77.50                | 78.00 | 94.40                | 75.50 | 99.30                 | 88.20 | 56.20   | 55.00 | 38.60   | 36.50 | 36.90   | 36.80 | 38.10   | 38.00 |
| 13.00 | 4.80                  | 5.10 | 627.45                | 666.67 | 0.20                 | 2.40 | 49.60    | 43.20 | 92.70    | 84.30 | 35.00                | 34.00 | 70.00                | 68.00 | 86.60                | 73.10 | 92.90                 | 88.60 | 50.30   | 51.70 | 39.00   | 36.40 | 39.60   | 40.60 | 40.60   | 41.60 |
| 14.00 | 4.10                  | 4.20 | 535.95                | 549.02 | 0.40                 | 2.00 | 45.80    | 39.70 | 82.60    | 74.20 | 35.00                | 34.00 | 60.00                | 57.00 | 75.50                | 65.60 | 83.20                 | 74.30 | 48.50   | 49.40 | 37.50   | 36.10 | 41.40   | 41.30 | 42.10   | 42.10 |
| 15.00 | 4.00                  | 4.00 | 522.88                | 522.88 | 1.30                 | 2.30 | 44.50    | 37.00 | 75.90    | 65.10 | 35.00                | 33.00 | 55.00                | 52.00 | 69.50                | 56.90 | 76.10                 | 67.20 | 45.90   | 46.20 | 37.10   | 34.90 | 42.00   | 42.10 | 42.50   | 42.60 |

## Sudut Kemiringan 20°

| Jam   | I (W/m <sup>2</sup> ) |      | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | V <sub>x</sub> (m/s) |      | Tk1 (°C) |       | Tk2 (°C) |        | T <sub>±1</sub> (°C) |       | T <sub>±2</sub> (°C) |       | T <sub>±3</sub> (°C) |       | T <sub>abs</sub> (°C) |        | TP (°C) |       | TT (°C) |       | Ti (°C) |       | To (°C) |       |
|-------|-----------------------|------|-----------------------|--------|----------------------|------|----------|-------|----------|--------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|-----------------------|--------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 09.00 | 4.50                  | 4.60 | 588.24                | 601.31 | 1.30                 | 1.10 | 40.40    | 39.30 | 83.20    | 82.50  | 36.00                | 35.50 | 71.00                | 70.00 | 75.80                | 73.20 | 88.20                 | 86.90  | 50.80   | 48.20 | 35.20   | 36.70 | 33.10   | 33.10 | 33.80   | 33.80 |
| 10.00 | 5.50                  | 5.30 | 718.95                | 692.81 | 2.50                 | 1.80 | 45.50    | 43.20 | 98.60    | 97.90  | 39.00                | 38.00 | 84.50                | 83.00 | 91.20                | 88.90 | 103.30                | 102.20 | 55.40   | 53.60 | 37.10   | 36.90 | 35.10   | 34.80 | 36.00   | 35.70 |
| 11.00 | 6.00                  | 5.80 | 784.31                | 758.17 | 1.80                 | 2.00 | 46.60    | 46.70 | 103.00   | 102.50 | 37.80                | 39.00 | 85.00                | 86.00 | 94.30                | 93.80 | 108.40                | 105.90 | 56.60   | 55.90 | 38.00   | 37.30 | 36.70   | 36.80 | 37.80   | 37.80 |
| 12.00 | 6.00                  | 6.10 | 784.31                | 797.39 | 2.00                 | 1.50 | 41.20    | 44.50 | 103.50   | 104.00 | 35.00                | 37.00 | 84.00                | 87.00 | 99.30                | 99.80 | 108.20                | 107.60 | 58.40   | 59.70 | 36.40   | 36.80 | 39.50   | 39.90 | 40.70   | 41.10 |
| 13.00 | 5.20                  | 5.00 | 679.74                | 653.59 | 1.50                 | 2.20 | 40.80    | 45.60 | 95.80    | 95.90  | 34.00                | 35.00 | 72.00                | 75.00 | 91.30                | 93.20 | 98.40                 | 96.70  | 56.20   | 56.30 | 36.50   | 38.00 | 40.90   | 40.80 | 42.00   | 41.90 |
| 14.00 | 4.20                  | 4.50 | 549.02                | 588.24 | 0.80                 | 1.20 | 45.70    | 42.10 | 87.60    | 86.50  | 34.00                | 35.00 | 62.00                | 68.00 | 81.50                | 84.60 | 88.70                 | 87.40  | 54.50   | 53.70 | 36.30   | 36.40 | 42.20   | 42.40 | 43.00   | 43.20 |
| 15.00 | 3.90                  | 4.00 | 509.80                | 522.88 | 0.90                 | 1.60 | 39.30    | 41.50 | 71.30    | 73.30  | 32.50                | 34.00 | 53.50                | 56.00 | 73.30                | 71.70 | 73.30                 | 75.20  | 48.50   | 46.80 | 35.70   | 34.90 | 43.20   | 43.10 | 43.90   | 43.70 |

## Sudut Kemiringan 30°

| Jam   | I (W/m <sup>2</sup> ) |      | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | V <sub>x</sub> (m/s) |      | Tk1 (°C) |       | Tk2 (°C) |        | T <sub>±1</sub> (°C) |       | T <sub>±2</sub> (°C) |       | T <sub>±3</sub> (°C) |        | T <sub>abs</sub> (°C) |        | TP (°C) |       | TT (°C) |       | Ti (°C) |       | To (°C) |       |
|-------|-----------------------|------|-----------------------|--------|----------------------|------|----------|-------|----------|--------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|--------|-----------------------|--------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| 09.00 | 4.70                  | 4.50 | 614.38                | 588.24 | 1.30                 | 0.60 | 49.30    | 47.20 | 99.20    | 95.70  | 33.00                | 34.00 | 83.00                | 85.00 | 87.90                | 85.30  | 102.20                | 100.80 | 52.20   | 52.70 | 36.30   | 35.40 | 33.00   | 33.10 | 33.80   | 33.90 |
| 10.00 | 5.40                  | 5.50 | 705.88                | 718.95 | 1.50                 | 2.00 | 49.90    | 49.30 | 103.20   | 103.60 | 34.00                | 35.00 | 85.50                | 86.00 | 94.80                | 93.50  | 105.60                | 104.30 | 54.30   | 53.80 | 37.20   | 36.10 | 36.30   | 36.20 | 37.20   | 37.10 |
| 11.00 | 6.00                  | 5.90 | 784.31                | 771.24 | 1.80                 | 1.30 | 46.60    | 49.60 | 104.30   | 104.70 | 34.20                | 36.00 | 86.00                | 88.00 | 103.00               | 101.50 | 106.60                | 105.80 | 60.80   | 58.90 | 37.30   | 35.00 | 38.40   | 38.60 | 39.60   | 39.80 |
| 12.00 | 6.30                  | 6.20 | 823.53                | 810.46 | 0.60                 | 1.80 | 48.10    | 48.40 | 104.60   | 105.10 | 34.80                | 36.00 | 86.40                | 87.00 | 104.10               | 103.90 | 109.30                | 107.90 | 61.50   | 61.10 | 38.10   | 37.50 | 40.60   | 40.60 | 42.00   | 41.90 |
| 13.00 | 5.20                  | 5.80 | 679.74                | 758.17 | 0.30                 | 0.80 | 45.70    | 46.70 | 97.20    | 98.20  | 34.10                | 35.00 | 78.00                | 80.00 | 90.30                | 92.10  | 100.30                | 101.70 | 56.90   | 55.50 | 39.70   | 38.40 | 42.10   | 41.90 | 43.30   | 43.10 |
| 14.00 | 4.70                  | 4.50 | 614.38                | 588.24 | 0.80                 | 1.50 | 44.80    | 45.30 | 88.60    | 90.50  | 33.00                | 34.00 | 69.00                | 73.00 | 80.60                | 83.50  | 89.60                 | 92.10  | 53.70   | 54.60 | 35.80   | 36.20 | 43.00   | 43.20 | 43.90   | 44.10 |
| 15.00 | 4.00                  | 4.10 | 522.88                | 535.95 | 2.20                 | 2.00 | 40.30    | 42.90 | 70.80    | 76.30  | 33.00                | 34.00 | 52.00                | 65.00 | 70.30                | 71.20  | 73.60                 | 78.20  | 50.40   | 51.30 | 34.10   | 33.80 | 44.10   | 44.10 | 44.90   | 44.80 |

Data Percobaan (continued)

| Sudut Kemiringan 10° |          |      |          |        |          |      |          |       |          |       |          |       |          |       |          |       |                       |       |         |       |         |       |         |       |         |       |
|----------------------|----------|------|----------|--------|----------|------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|-----------------------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Jam                  | I (W/m²) |      | I (W/m²) |        | V∞ (m/s) |      | Tk1 (°C) |       | Tk2 (°C) |       | T∞1 (°C) |       | T∞2 (°C) |       | T∞3 (°C) |       | T <sub>abs</sub> (°C) |       | TP (°C) |       | TT (°C) |       | Ti (°C) |       | To (°C) |       |
| 09.00-10.00          | 4.85     | 4.95 | 633.99   | 647.06 | 0.35     | 1.40 | 45.95    | 41.65 | 83.20    | 75.25 | 38.25    | 35.75 | 72.00    | 76.00 | 73.80    | 67.55 | 84.40                 | 77.90 | 46.45   | 50.50 | 36.70   | 35.10 | 33.10   | 32.40 | 33.75   | 33.05 |
| 10.00-11.00          | 5.50     | 5.60 | 718.95   | 732.03 | 0.75     | 1.70 | 51.30    | 42.75 | 91.50    | 81.65 | 39.00    | 36.00 | 77.00    | 80.50 | 80.70    | 74.00 | 92.75                 | 85.70 | 49.45   | 53.10 | 38.15   | 35.70 | 34.60   | 33.55 | 35.45   | 34.40 |
| 11.00-12.00          | 6.00     | 6.00 | 784.31   | 784.31 | 1.40     | 2.35 | 50.95    | 42.80 | 96.75    | 84.40 | 36.75    | 35.00 | 77.75    | 80.00 | 89.05    | 75.85 | 97.85                 | 88.30 | 53.30   | 54.90 | 38.55   | 36.55 | 36.05   | 35.60 | 37.10   | 36.70 |
| 12.00-13.00          | 5.50     | 5.60 | 718.95   | 732.03 | 0.85     | 2.45 | 50.30    | 42.85 | 95.55    | 84.50 | 35.25    | 34.00 | 73.75    | 73.00 | 90.50    | 74.30 | 96.10                 | 88.40 | 53.25   | 53.35 | 38.80   | 36.45 | 38.25   | 38.70 | 39.30   | 39.80 |
| 13.00-14.00          | 4.45     | 4.65 | 581.70   | 607.84 | 0.30     | 2.20 | 47.70    | 41.45 | 87.65    | 79.25 | 35.00    | 34.00 | 65.00    | 62.50 | 81.05    | 69.35 | 88.05                 | 81.45 | 49.40   | 50.55 | 38.25   | 36.25 | 40.50   | 40.95 | 41.35   | 41.85 |
| 14.00-15.00          | 4.05     | 4.10 | 529.41   | 535.95 | 0.85     | 2.15 | 45.15    | 38.35 | 79.25    | 69.65 | 35.00    | 33.50 | 57.50    | 54.50 | 72.50    | 61.25 | 79.65                 | 70.75 | 47.20   | 47.80 | 37.30   | 35.50 | 41.70   | 41.70 | 42.30   | 42.35 |

| Sudut Kemiringan 20° |                       |      |                       |        |                      |      |          |       |          |        |                      |       |                      |       |                      |       |                       |        |         |       |         |       |         |       |         |       |
|----------------------|-----------------------|------|-----------------------|--------|----------------------|------|----------|-------|----------|--------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|-----------------------|--------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Jam                  | I (W/m <sup>2</sup> ) |      | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | V <sub>∞</sub> (m/s) |      | Tk1 (°C) |       | Tk2 (°C) |        | T <sub>∞1</sub> (°C) |       | T <sub>∞2</sub> (°C) |       | T <sub>∞3</sub> (°C) |       | T <sub>abs</sub> (°C) |        | TP (°C) |       | TT (°C) |       | Ti (°C) |       | To (°C) |       |
| 09.00-10.00          | 4.50                  | 4.60 | 588.24                | 601.31 | 1.30                 | 1.10 | 40.40    | 39.30 | 83.20    | 82.50  | 36.00                | 35.50 | 71.00                | 70.00 | 75.80                | 73.20 | 88.20                 | 86.90  | 50.80   | 48.20 | 35.20   | 36.70 | 33.10   | 33.10 | 33.80   | 33.80 |
| 10.00-11.00          | 5.50                  | 5.30 | 718.95                | 692.81 | 2.50                 | 1.80 | 45.50    | 43.20 | 98.60    | 97.90  | 39.00                | 38.00 | 84.50                | 83.00 | 91.20                | 88.90 | 103.30                | 102.20 | 55.40   | 53.60 | 37.10   | 36.90 | 35.10   | 34.80 | 36.00   | 35.70 |
| 11.00-12.00          | 6.00                  | 5.80 | 784.31                | 758.17 | 1.80                 | 2.00 | 46.60    | 46.70 | 103.00   | 102.50 | 37.80                | 39.00 | 85.00                | 86.00 | 94.30                | 93.80 | 108.40                | 105.90 | 56.60   | 55.90 | 38.00   | 37.30 | 36.70   | 36.80 | 37.80   | 37.80 |
| 12.00-13.00          | 6.00                  | 6.10 | 784.31                | 797.39 | 2.00                 | 1.50 | 41.20    | 44.50 | 103.50   | 104.00 | 35.00                | 37.00 | 84.00                | 87.00 | 99.30                | 99.80 | 108.20                | 107.60 | 58.40   | 59.70 | 36.40   | 36.80 | 39.50   | 39.90 | 40.70   | 41.10 |
| 13.00-14.00          | 5.20                  | 5.00 | 679.74                | 653.59 | 1.50                 | 2.20 | 40.80    | 45.60 | 95.80    | 95.90  | 34.00                | 35.00 | 72.00                | 75.00 | 91.30                | 93.20 | 98.40                 | 96.70  | 56.20   | 56.30 | 36.50   | 38.00 | 40.90   | 40.80 | 42.00   | 41.90 |
| 14.00-15.00          | 4.20                  | 4.50 | 549.02                | 588.24 | 0.80                 | 1.20 | 45.70    | 42.10 | 87.60    | 86.50  | 34.00                | 35.00 | 62.00                | 68.00 | 81.50                | 84.60 | 88.70                 | 87.40  | 54.50   | 53.70 | 36.30   | 36.40 | 42.20   | 42.40 | 43.00   | 43.20 |

| Sudut Kemiringan 30° |                       |      |                       |        |                      |      |          |       |          |        |                      |       |                      |       |                      |        |                       |        |         |       |         |       |         |       |         |       |
|----------------------|-----------------------|------|-----------------------|--------|----------------------|------|----------|-------|----------|--------|----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|--------|-----------------------|--------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| Jam                  | I (W/m <sup>2</sup> ) |      | I (W/m <sup>2</sup> ) |        | V <sub>∞</sub> (m/s) |      | Tk1 (°C) |       | Tk2 (°C) |        | T <sub>∞1</sub> (°C) |       | T <sub>∞2</sub> (°C) |       | T <sub>∞3</sub> (°C) |        | T <sub>abs</sub> (°C) |        | TP (°C) |       | TT (°C) |       | Ti (°C) |       | To (°C) |       |
| 09.00-10.00          | 4.70                  | 4.50 | 614.38                | 588.24 | 1.30                 | 0.60 | 49.30    | 47.20 | 99.20    | 95.70  | 33.00                | 34.00 | 83.00                | 85.00 | 87.90                | 85.30  | 102.20                | 100.80 | 52.20   | 52.70 | 36.30   | 35.40 | 33.00   | 33.10 | 33.80   | 33.90 |
| 10.00-11.00          | 5.40                  | 5.50 | 705.88                | 718.95 | 1.50                 | 2.00 | 49.90    | 49.30 | 103.20   | 103.60 | 34.00                | 35.00 | 85.50                | 86.00 | 94.80                | 93.50  | 105.60                | 104.30 | 54.30   | 53.80 | 37.20   | 36.10 | 36.30   | 36.20 | 37.20   | 37.10 |
| 11.00-12.00          | 6.00                  | 5.90 | 784.31                | 771.24 | 1.80                 | 1.30 | 46.60    | 49.60 | 104.30   | 104.70 | 34.20                | 36.00 | 86.00                | 88.00 | 103.00               | 101.50 | 106.60                | 105.80 | 60.80   | 58.90 | 37.30   | 35.00 | 38.40   | 38.60 | 39.60   | 39.80 |
| 12.00-13.00          | 6.30                  | 6.20 | 823.53                | 810.46 | 0.60                 | 1.80 | 48.10    | 48.40 | 104.60   | 105.10 | 34.80                | 36.00 | 86.40                | 87.00 | 104.10               | 103.90 | 109.30                | 107.90 | 61.50   | 61.10 | 38.10   | 37.50 | 40.60   | 40.60 | 42.00   | 41.90 |
| 13.00-14.00          | 5.20                  | 5.80 | 679.74                | 758.17 | 0.30                 | 0.80 | 45.70    | 46.70 | 97.20    | 98.20  | 34.10                | 35.00 | 78.00                | 80.00 | 90.30                | 92.10  | 100.30                | 101.70 | 56.90   | 55.50 | 39.70   | 38.40 | 42.10   | 41.90 | 43.30   | 43.10 |
| 14.00-15.00          | 4.70                  | 4.50 | 614.38                | 588.24 | 0.80                 | 1.50 | 44.80    | 45.30 | 88.60    | 90.50  | 33.00                | 34.00 | 69.00                | 73.00 | 80.60                | 83.50  | 89.60                 | 92.10  | 53.70   | 54.60 | 35.80   | 36.20 | 43.00   | 43.20 | 43.90   | 44.10 |

# Perhitungan Intensitas Matahari Yang Mengenai Kolektor

| Perhitungan IT 10 derajat |        |        |       |        |        |        |      |      |            |       |        |        |       |       |       |        |
|---------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|------|------|------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| Jam                       | N      |        | β     | A (km) | B      |        | E    |      | Solar Time |       | ω      |        | δ     |       | φ     | γ      |
| 09.00-10.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 8.31       | 8.30  | -52.25 | -52.50 | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 10.00-11.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 9.31       | 9.30  | -37.25 | -37.50 | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 11.00-12.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 10.31      | 10.30 | -22.25 | -22.50 | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 12.00-13.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 11.31      | 11.30 | -7.25  | -7.50  | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 13.00-14.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 12.31      | 12.30 | 7.75   | 7.50   | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 14.00-15.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 13.31      | 13.30 | 22.75  | 22.50  | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |

| Perhitungan IT 10 derajat |        |        |       |        |        |        |      |      |            |       |        |        |       |       |       |        |
|---------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|------|------|------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| Jam                       | n      |        | β     | A (km) | B      |        | E    |      | Solar Time |       | ω      |        | δ     |       | φ     | γ      |
| 09.00-10.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 8.31       | 8.30  | -52.25 | -52.50 | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 10.00-11.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 9.31       | 9.30  | -37.25 | -37.50 | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 11.00-12.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 10.31      | 10.30 | -22.25 | -22.50 | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 12.00-13.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 11.31      | 11.30 | -7.25  | -7.50  | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 13.00-14.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 12.31      | 12.30 | 7.75   | 7.50   | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 14.00-15.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 13.31      | 13.30 | 22.75  | 22.50  | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |

| Perhitungan IT 10 derajat |        |        |       |        |        |        |      |      |            |       |        |        |       |       |       |        |
|---------------------------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|------|------|------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|
| Jam                       | n      |        | β     | A (km) | B      |        | E    |      | Solar Time |       | ω      |        | δ     |       | φ     | γ      |
| 09.00-10.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 8.31       | 8.30  | -52.25 | -52.50 | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 10.00-11.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 9.31       | 9.30  | -37.25 | -37.50 | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 11.00-12.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 10.31      | 10.30 | -22.25 | -22.50 | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 12.00-13.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 11.31      | 11.30 | -7.25  | -7.50  | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 13.00-14.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 12.31      | 12.30 | 7.75   | 7.50   | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |
| 14.00-15.00               | 158.00 | 159.00 | 10.00 | 0.01   | 154.85 | 155.84 | 1.58 | 1.39 | 13.31      | 13.30 | 22.75  | 22.50  | 22.75 | 22.84 | -7.25 | 180.00 |

Perhitungan Intensitas Matahari Yang Mengenai Kolektor (*continued*)

Perhitungan IT 10 derajat

| cos θ |      | cos θz |      | Rb   |      | ω1     |        | ω2     |        | Io      |         | kT   |      | Id     |        | Ib     |        | IT     |        |
|-------|------|--------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.58  | 0.58 | 0.51   | 0.51 | 1.14 | 1.14 | -67.25 | -67.50 | -52.25 | -52.50 | 539.34  | 585.39  | 1.09 | 1.11 | 104.12 | 106.43 | 484.12 | 494.88 | 654.93 | 670.22 |
| 0.75  | 0.75 | 0.68   | 0.68 | 1.11 | 1.11 | -52.25 | -52.50 | -37.25 | -37.50 | 786.56  | 854.51  | 0.86 | 0.88 | -22.51 | 157.34 | 702.25 | 535.47 | 754.77 | 749.16 |
| 0.87  | 0.87 | 0.80   | 0.80 | 1.09 | 1.09 | -37.25 | -37.50 | -22.25 | -22.50 | 975.81  | 1061.01 | 0.78 | 0.79 | 96.58  | 337.95 | 661.59 | 433.29 | 818.18 | 808.72 |
| 0.93  | 0.93 | 0.86   | 0.86 | 1.09 | 1.09 | -22.25 | -22.50 | -7.25  | -7.50  | 1094.20 | 1190.83 | 0.74 | 0.73 | 157.34 | 350.25 | 653.12 | 447.13 | 865.30 | 833.50 |
| 0.93  | 0.93 | 0.86   | 0.86 | 1.09 | 1.09 | -7.25  | -7.50  | 7.75   | 7.50   | 1133.66 | 1235.10 | 0.55 | 0.59 | 337.95 | 295.82 | 289.50 | 370.85 | 649.78 | 696.43 |
| 0.87  | 0.87 | 0.79   | 0.80 | 1.09 | 1.09 | 7.75   | 7.50   | 22.75  | 22.50  | 1091.49 | 1190.83 | 0.49 | 0.50 | 350.25 | 0.00   | 185.70 | 549.02 | 550.44 | 599.76 |

Perhitungan IT 10 derajat

| cos θ |      | cos θz |      | Rb   |      | ω1     |        | ω2     |        | Io      |         | kT   |      | Id     |        | Ib     |        | IT     |        |
|-------|------|--------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.58  | 0.58 | 0.51   | 0.51 | 1.14 | 1.14 | -67.25 | -67.50 | -52.25 | -52.50 | 539.34  | 585.39  | 1.09 | 1.11 | 104.12 | 106.43 | 484.12 | 494.88 | 654.93 | 670.22 |
| 0.75  | 0.75 | 0.68   | 0.68 | 1.11 | 1.11 | -52.25 | -52.50 | -37.25 | -37.50 | 786.56  | 854.51  | 0.91 | 0.88 | -89.77 | 186.75 | 808.72 | 506.06 | 805.84 | 745.78 |
| 0.87  | 0.87 | 0.80   | 0.80 | 1.09 | 1.09 | -37.25 | -37.50 | -22.25 | -22.50 | 975.81  | 1061.01 | 0.80 | 0.78 | 61.25  | 308.42 | 723.07 | 449.75 | 850.23 | 797.40 |
| 0.93  | 0.93 | 0.86   | 0.86 | 1.09 | 1.09 | -22.25 | -22.50 | -7.25  | -7.50  | 1094.20 | 1190.83 | 0.72 | 0.73 | 186.75 | 346.70 | 597.57 | 450.69 | 834.17 | 833.64 |
| 0.93  | 0.93 | 0.86   | 0.86 | 1.09 | 1.09 | -7.25  | -7.50  | 7.75   | 7.50   | 1133.66 | 1235.10 | 0.60 | 0.58 | 308.42 | 301.05 | 371.31 | 352.54 | 709.32 | 681.74 |
| 0.87  | 0.87 | 0.79   | 0.80 | 1.09 | 1.09 | 7.75   | 7.50   | 22.75  | 22.50  | 1091.49 | 1190.83 | 0.50 | 0.54 | 346.70 | 0.00   | 202.32 | 588.24 | 565.07 | 642.60 |

Perhitungan IT 10 derajat

| cos θ |      | cos θz |      | Rb   |      | ω1     |        | ω2     |        | Io      |         | kT   |      | Id     |        | Ib     |        | IT     |        |
|-------|------|--------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.58  | 0.58 | 0.51   | 0.51 | 1.14 | 1.14 | -67.25 | -67.50 | -52.25 | -52.50 | 539.34  | 585.39  | 1.14 | 1.09 | 108.75 | 104.12 | 505.63 | 484.12 | 684.03 | 655.65 |
| 0.75  | 0.75 | 0.68   | 0.68 | 1.11 | 1.11 | -52.25 | -52.50 | -37.25 | -37.50 | 786.56  | 854.51  | 0.90 | 0.91 | -66.55 | 141.78 | 772.43 | 577.18 | 788.72 | 779.91 |
| 0.87  | 0.87 | 0.80   | 0.80 | 1.09 | 1.09 | -37.25 | -37.50 | -22.25 | -22.50 | 975.81  | 1061.01 | 0.80 | 0.79 | 61.25  | 308.42 | 723.07 | 462.82 | 850.22 | 811.68 |
| 0.93  | 0.93 | 0.86   | 0.86 | 1.09 | 1.09 | -22.25 | -22.50 | -7.25  | -7.50  | 1094.20 | 1190.83 | 0.75 | 0.74 | 141.78 | 320.28 | 681.75 | 490.18 | 880.95 | 850.32 |
| 0.93  | 0.93 | 0.86   | 0.86 | 1.09 | 1.09 | -7.25  | -7.50  | 7.75   | 7.50   | 1133.66 | 1235.10 | 0.60 | 0.67 | 308.42 | 295.82 | 371.31 | 462.35 | 709.32 | 795.82 |
| 0.87  | 0.87 | 0.79   | 0.80 | 1.09 | 1.09 | 7.75   | 7.50   | 22.75  | 22.50  | 1091.49 | 1190.83 | 0.56 | 0.54 | 320.28 | 0.00   | 294.10 | 588.24 | 639.07 | 642.60 |

Perhitungan Radiasi Matahari Yang Diserap Kolektor

Perhitungan S 10 derajat

| Trans (τ) | Absorp (α) | S (W/m <sup>2</sup> ) |        |
|-----------|------------|-----------------------|--------|
| 0.79      | 0.95       | 496.44                | 508.03 |
| 0.79      | 0.95       | 572.12                | 567.87 |
| 0.79      | 0.95       | 620.18                | 613.02 |
| 0.79      | 0.95       | 655.90                | 631.65 |
| 0.79      | 0.95       | 492.54                | 527.90 |
| 0.79      | 0.95       | 417.23                | 454.62 |

Perhitungan S 20 derajat

| Trans (τ) | Absorp (α) | S (W/m <sup>2</sup> ) |        |
|-----------|------------|-----------------------|--------|
| 0.79      | 0.95       | 496.44                | 508.03 |
| 0.79      | 0.95       | 610.83                | 565.31 |
| 0.79      | 0.95       | 644.48                | 604.43 |
| 0.79      | 0.95       | 632.31                | 631.90 |
| 0.79      | 0.95       | 537.67                | 516.76 |
| 0.79      | 0.95       | 428.32                | 487.09 |

Perhitungan S 30 derajat

| Trans (τ) | Absorp (α) | S (W/m <sup>2</sup> ) |        |
|-----------|------------|-----------------------|--------|
| 0.79      | 0.95       | 518.50                | 496.99 |
| 0.79      | 0.95       | 597.86                | 591.17 |
| 0.79      | 0.95       | 644.47                | 615.26 |
| 0.79      | 0.95       | 667.76                | 644.54 |
| 0.79      | 0.95       | 537.67                | 603.23 |
| 0.79      | 0.95       | 484.42                | 487.09 |



# Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Pada Kaca Dengan Lingkungan

Perpan Konveksi dan radiasi Pada Kaca dengan Lingkungan 10 Derajat

| ρ udara (kg/m <sup>3</sup> ) |      | Viskotas kinematik μ (Ns/m <sup>2</sup> ) |          | L (m) | Re        |           | Pr   |      | Nu     |        | Kond udara (W/mK) |      | h (W/m <sup>2</sup> K) |      | σ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | ε    | hr (W/m <sup>2</sup> K) |
|------------------------------|------|---|----------|-------|-----------|-----------|------|------|--------|--------|-------------------|------|------------------------|------|--------------------------------------|------|-------------------------|
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 45478.65  | 145883.02 | 0.71 | 0.71 | 126.05 | 225.78 | 0.03              | 0.03 | 2.30                   | 4.12 | 0.00000006                           | 0.90 | 7.29 7.40               |
| 1.14                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 17947.69  | 108724.79 | 0.70 | 0.71 | 79.16  | 194.91 | 0.03              | 0.03 | 1.45                   | 3.56 | 0.00000006                           | 0.90 | 7.61 7.85               |
| 1.14                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 117562.15 | 199910.80 | 0.71 | 0.71 | 202.64 | 264.29 | 0.03              | 0.03 | 3.70                   | 4.83 | 0.00000006                           | 0.90 | 7.81 8.05               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 156963.99 | 229102.96 | 0.71 | 0.71 | 218.77 | 282.97 | 0.03              | 0.03 | 4.00                   | 5.17 | 0.00000006                           | 0.90 | 7.82 8.09               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 18297.20  | 220098.35 | 0.71 | 0.71 | 79.96  | 277.36 | 0.03              | 0.03 | 1.46                   | 5.07 | 0.00000006                           | 0.90 | 7.82 7.86               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 36594.39  | 183415.29 | 0.71 | 0.71 | 113.08 | 253.19 | 0.03              | 0.03 | 2.07                   | 4.62 | 0.00000006                           | 0.90 | 7.35 7.49               |

Perpan Konveksi dan radiasi Pada Kaca dengan Lingkungan 20 Derajat

| ρ udara (kg/m <sup>3</sup> ) |      | Viskotas kinematik μ (Ns/m <sup>2</sup> ) |          | L (m) | Re        |           | Pr   |      | Nu     |        | Kond udara (W/mK) |      | h (W/m <sup>2</sup> K) |      | σ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | ε    | hr (W/m <sup>2</sup> K) |
|------------------------------|------|---|----------|-------|-----------|-----------|------|------|--------|--------|-------------------|------|------------------------|------|--------------------------------------|------|-------------------------|
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 118473.03 | 100367.42 | 0.71 | 0.71 | 203.46 | 187.27 | 0.03              | 0.03 | 3.72                   | 3.42 | 0.00000006                           | 0.90 | 7.63 7.55               |
| 1.14                         | 1.14 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 225211.51 | 162541.41 | 0.70 | 0.71 | 280.45 | 238.27 | 0.03              | 0.03 | 5.12                   | 4.35 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.33 8.21               |
| 1.14                         | 1.14 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 162903.94 | 180484.39 | 0.71 | 0.70 | 238.54 | 251.06 | 0.03              | 0.03 | 4.36                   | 4.59 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.63 8.34               |
| 1.15                         | 1.14 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 182971.95 | 136568.75 | 0.71 | 0.71 | 252.86 | 218.42 | 0.03              | 0.03 | 4.62                   | 3.99 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.61 8.27               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 137760.84 | 201560.86 | 0.71 | 0.71 | 219.43 | 265.40 | 0.03              | 0.03 | 4.01                   | 4.85 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.34 7.94               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 73472.45  | 109942.29 | 0.71 | 0.71 | 160.25 | 196.01 | 0.03              | 0.03 | 2.93                   | 3.58 | 0.00000006                           | 0.90 | 7.87 7.64               |

Perpan Konveksi dan radiasi Pada Kaca dengan Lingkungan 30 Derajat

| ρ udara (kg/m <sup>3</sup> ) |      | Viskotas kinematik μ (Ns/m <sup>2</sup> ) |          | L (m) | Re        |           | Pr   |      | Nu     |        | Kond udara (W/mK) |      | h (W/m <sup>2</sup> K) |      | σ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | ε    | hr (W/m <sup>2</sup> K) |
|------------------------------|------|---|----------|-------|-----------|-----------|------|------|--------|--------|-------------------|------|------------------------|------|--------------------------------------|------|-------------------------|
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 119855.93 | 55184.09  | 0.71 | 0.71 | 204.69 | 138.88 | 0.03              | 0.03 | 3.74                   | 2.54 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.38 8.04               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 137760.84 | 183237.14 | 0.71 | 0.71 | 219.43 | 253.05 | 0.03              | 0.03 | 4.01                   | 4.62 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.76 8.22               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 165185.11 | 118782.56 | 0.71 | 0.71 | 240.28 | 203.72 | 0.03              | 0.03 | 4.39                   | 3.72 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.82 8.27               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 54934.05  | 164325.30 | 0.71 | 0.71 | 138.56 | 239.61 | 0.03              | 0.03 | 2.53                   | 4.38 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.79 8.30               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 27541.51  | 73284.25  | 0.71 | 0.71 | 98.11  | 160.03 | 0.03              | 0.03 | 1.79                   | 2.92 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.46 8.00               |
| 1.15                         | 1.15 | 0.000019                                  | 0.000019 | 1.50  | 73757.50  | 137960.22 | 0.71 | 0.71 | 160.57 | 219.59 | 0.03              | 0.03 | 2.93                   | 4.01 | 0.00000006                           | 0.90 | 8.12 7.64               |

## Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Antara Kaca 1 Dengan Kaca 2

Perpan konveksi dan radiasi antar kaca 10 derajat

| Tf(K)  |        | g (m/s <sup>2</sup> ) |          | β        |          | Viskositas kinematik μ (Ns/m <sup>2</sup> ) |          | Kec Kinematik α (m <sup>2</sup> /s) |              | Ra           |       | Nu    |      | k (W/mK) |      | h (W/m <sup>2</sup> K) |      | hr (W/m <sup>2</sup> K) |  |
|--------|--------|-----------------------|----------|----------|----------|---|----------|-------------------------------------|--------------|--------------|-------|-------|------|----------|------|------------------------|------|-------------------------|--|
| 332.35 | 329.10 | 9.81                  | 0.003009 | 0.003039 | 0.000019 | 0.000019                                    | 0.000028 | 0.000027                            | 265271467.55 | 212634216.12 | 34.46 | 32.60 | 0.03 | 0.03     | 2.07 | 1.96                   | 7.29 | 8.54                    |  |
| 342.80 | 333.80 | 9.81                  | 0.002917 | 0.002996 | 0.000020 | 0.000019                                    | 0.000029 | 0.000028                            | 217002674.44 | 226547260.75 | 32.77 | 33.12 | 0.03 | 0.03     | 1.97 | 1.99                   | 7.61 | 9.20                    |  |
| 346.00 | 336.60 | 9.81                  | 0.002890 | 0.002971 | 0.000021 | 0.000020                                    | 0.000030 | 0.000028                            | 253859249.74 | 242056398.21 | 34.08 | 33.68 | 0.03 | 0.03     | 2.04 | 2.02                   | 7.81 | 9.72                    |  |
| 347.70 | 336.60 | 9.81                  | 0.002876 | 0.002971 | 0.000021 | 0.000020                                    | 0.000030 | 0.000028                            | 266188064.27 | 244801044.43 | 34.49 | 33.77 | 0.03 | 0.03     | 2.07 | 2.03                   | 7.82 | 10.29                   |  |
| 344.15 | 336.75 | 9.81                  | 0.002906 | 0.002970 | 0.000021 | 0.000020                                    | 0.000029 | 0.000028                            | 253722256.08 | 247265363.65 | 34.08 | 33.86 | 0.03 | 0.03     | 2.04 | 2.03                   | 7.82 | 9.74                    |  |
| 337.20 | 329.95 | 9.81                  | 0.002966 | 0.003031 | 0.000020 | 0.000019                                    | 0.000028 | 0.000027                            | 238134858.93 | 228156939.78 | 33.54 | 33.18 | 0.03 | 0.03     | 2.01 | 1.99                   | 7.35 | 8.91                    |  |

Perpan konveksi dan radiasi antar kaca 10 derajat

| Tf     |        | g    | β        | Viskositas kinematik μ (Ns/m <sup>2</sup> ) |          | Kec Kinematik α (m <sup>2</sup> /s) |          | Ra       |              | Nu           |       | k (W/mK) |      | h (W/m <sup>2</sup> K) |      | hr (W/m <sup>2</sup> K) |      |       |
|--------|--------|------|----------|---|----------|-------------------------------------|----------|----------|--------------|--------------|-------|----------|------|------------------------|------|-------------------------|------|-------|
| 334.80 | 333.90 | 9.81 | 0.002987 | 0.002995                                    | 0.000020 | 0.000019                            | 0.000028 | 0.000028 | 286375617.79 | 289831141.41 | 35.12 | 35.23    | 0.03 | 0.03                   | 2.11 | 2.11                    | 7.20 | 8.94  |
| 345.05 | 343.55 | 9.81 | 0.002898 | 0.002911                                    | 0.000021 | 0.000020                            | 0.000030 | 0.000029 | 308854261.32 | 319549749.82 | 35.79 | 36.10    | 0.03 | 0.03                   | 2.15 | 2.17                    | 7.78 | 10.17 |
| 347.80 | 347.60 | 9.81 | 0.002875 | 0.002877                                    | 0.000021 | 0.000021                            | 0.000030 | 0.000030 | 316313407.70 | 313128433.80 | 36.01 | 35.92    | 0.03 | 0.03                   | 2.16 | 2.15                    | 8.00 | 10.48 |
| 345.35 | 347.25 | 9.81 | 0.002896 | 0.002880                                    | 0.000021 | 0.000021                            | 0.000030 | 0.000030 | 360920298.58 | 342813118.64 | 37.21 | 36.74    | 0.03 | 0.03                   | 2.23 | 2.20                    | 7.97 | 10.71 |
| 341.30 | 343.75 | 9.81 | 0.002930 | 0.002909                                    | 0.000020 | 0.000020                            | 0.000029 | 0.000029 | 336456676.32 | 305511827.06 | 36.57 | 35.70    | 0.03 | 0.03                   | 2.19 | 2.14                    | 7.57 | 10.05 |
| 339.65 | 337.30 | 9.81 | 0.002944 | 0.002965                                    | 0.000020 | 0.000020                            | 0.000029 | 0.000028 | 262147126.03 | 279723739.64 | 34.36 | 34.92    | 0.03 | 0.03                   | 2.06 | 2.10                    | 7.22 | 9.33  |

Perpan konveksi dan radiasi antar kaca 10 derajat

| Tf     | g      | β    | Viskositas kinematik μ (Ns/m <sup>2</sup> ) |          | Kec Kinematik α (m <sup>2</sup> /s) |          | Ra           | Nu           | k (W/mK) | h (W/m <sup>2</sup> K) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |      |      |      |      |       |
|--------|--------|------|---|----------|-------------------------------------|----------|--------------|--------------|----------|------------------------|-------------------------|------|------|------|------|-------|
| 347.25 | 344.45 | 9.81 | 0.002880                                    | 0.002903 | 0.000021                            | 0.000030 | 281894696.64 | 276213031.10 | 34.99    | 34.81                  | 0.03                    | 0.03 | 2.10 | 2.09 | 7.98 | 10.06 |
| 349.55 | 349.45 | 9.81 | 0.002861                                    | 0.002862 | 0.000021                            | 0.000030 | 292148097.19 | 297714470.55 | 35.30    | 35.47                  | 0.03                    | 0.03 | 2.12 | 2.13 | 8.09 | 10.51 |
| 348.45 | 350.15 | 9.81 | 0.002870                                    | 0.002856 | 0.000021                            | 0.000030 | 320851793.14 | 304906438.13 | 36.14    | 35.68                  | 0.03                    | 0.03 | 2.17 | 2.14 | 8.18 | 10.91 |
| 349.35 | 349.75 | 9.81 | 0.002862                                    | 0.002859 | 0.000021                            | 0.000030 | 311240746.31 | 310498003.86 | 35.84    | 35.86                  | 0.03                    | 0.03 | 2.15 | 2.15 | 8.10 | 10.97 |
| 344.45 | 345.45 | 9.81 | 0.002903                                    | 0.002895 | 0.000021                            | 0.000030 | 301957148.10 | 301083050.11 | 35.59    | 35.57                  | 0.03                    | 0.03 | 2.14 | 2.13 | 7.79 | 10.07 |
| 339.70 | 340.90 | 9.81 | 0.002944                                    | 0.002933 | 0.000020                            | 0.000029 | 273847099.27 | 281605423.66 | 34.73    | 34.98                  | 0.03                    | 0.03 | 2.08 | 2.10 | 7.49 | 9.34  |

# Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Kaca 2 Dengan Pelat Absorber

Perpan konveksi dan radiasi Kaca Dgn Plat abs 10 derajat

| Tt (K) | g (m/s <sup>2</sup> ) | β    | Viskositas kinematik μ (Ns/m <sup>2</sup> ) |            | Kec Kinematik α (m <sup>2</sup> /s) |            | Ra         |            | Nu         |             | k (W/mK) |       | h (W/m <sup>2</sup> K) |       | ε    | hr (W/m <sup>2</sup> K) |      |
|--------|-----------------------|------|---|------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|----------|-------|------------------------|-------|------|-------------------------|------|
| 352.10 | 345.05                | 9.81 | 0.00284010                                  | 0.00289813 | 0.00002137                          | 0.00002063 | 0.00003073 | 0.00002962 | 6363309.17 | 8116653.96  | 13.56    | 14.41 | 13.56                  | 14.41 | 0.02 | 8.91                    | 8.39 |
| 361.50 | 354.10                | 9.81 | 0.00276625                                  | 0.00282406 | 0.00002236                          | 0.00002158 | 0.00003222 | 0.00003105 | 5650657.09 | 18267691.91 | 13.16    | 17.65 | 13.16                  | 17.65 | 0.02 | 9.64                    | 9.06 |
| 368.75 | 359.25                | 9.81 | 0.00271186                                  | 0.00278358 | 0.00002312                          | 0.00002212 | 0.00003336 | 0.00003186 | 5603985.06 | 19026430.73 | 13.14    | 17.83 | 13.14                  | 17.83 | 0.02 | 10.23                   | 9.46 |
| 371.85 | 359.45                | 9.81 | 0.00268926                                  | 0.00278203 | 0.00002345                          | 0.00002214 | 0.00003385 | 0.00003189 | 3738938.09 | 15041914.20 | 11.87    | 16.81 | 11.87                  | 16.81 | 0.02 | 10.50                   | 9.48 |
| 365.80 | 359.45                | 9.81 | 0.00273373                                  | 0.00278203 | 0.00002281                          | 0.00002214 | 0.00003290 | 0.00003189 | 893409.43  | 19547634.29 | 8.30     | 17.95 | 8.30                   | 17.95 | 0.02 | 9.99                    | 9.48 |
| 355.90 | 347.25                | 9.81 | 0.00280978                                  | 0.00287977 | 0.00002177                          | 0.00002086 | 0.00003133 | 0.00002997 | 3030675.22 | 517694.89   | 11.27    | 7.24  | 11.27                  | 7.24  | 0.02 | 9.20                    | 8.55 |

Perpan konveksi dan radiasi Kaca Dgn Plat abs 10 derajat

| Tt (K) | g (m/s <sup>2</sup> ) | β    | Viskositas kinematik μ (Ns/m <sup>2</sup> ) |            | Kec Kinematik α (m <sup>2</sup> /s) |            | Ra         |            | Nu          |             | k (W/mK) |       | h (W/m <sup>2</sup> K) |       | ε    | hr (W/m <sup>2</sup> K) |       |
|--------|-----------------------|------|---|------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|----------|-------|------------------------|-------|------|-------------------------|-------|
| 358.70 | 357.70                | 9.81 | 0.00278784                                  | 0.00279564 | 0.00002207                          | 0.00002196 | 0.00003177 | 0.00003162 | 24379730.50 | 21514140.93 | 18.97    | 18.39 | 18.97                  | 18.39 | 0.02 | 9.42                    | 9.34  |
| 373.95 | 373.05                | 9.81 | 0.00267415                                  | 0.00268061 | 0.00002367                          | 0.00002357 | 0.00003418 | 0.00003404 | 19047999.57 | 17468936.40 | 17.84    | 17.46 | 17.84                  | 17.46 | 0.02 | 10.67                   | 10.60 |
| 378.70 | 377.20                | 9.81 | 0.00264061                                  | 0.00265111 | 0.00002417                          | 0.00002401 | 0.00003493 | 0.00003470 | 20708979.87 | 13090839.08 | 18.21    | 16.24 | 18.21                  | 16.24 | 0.02 | 11.09                   | 10.95 |
| 378.85 | 378.80                | 9.81 | 0.00263957                                  | 0.00263992 | 0.00002419                          | 0.00002418 | 0.00003496 | 0.00003495 | 17993383.27 | 13783985.10 | 17.58    | 16.45 | 17.58                  | 16.45 | 0.02 | 11.10                   | 11.09 |
| 370.10 | 369.30                | 9.81 | 0.00270197                                  | 0.00270783 | 0.00002326                          | 0.00002318 | 0.00003358 | 0.00003345 | 11028407.82 | 3400707.15  | 15.56    | 11.59 | 15.56                  | 11.59 | 0.02 | 10.35                   | 10.28 |
| 361.15 | 359.95                | 9.81 | 0.00276893                                  | 0.00277816 | 0.00002232                          | 0.00002220 | 0.00003216 | 0.00003197 | 5202270.37  | 4270593.01  | 12.89    | 12.27 | 12.89                  | 12.27 | 0.02 | 9.62                    | 9.52  |

Perpan konveksi dan radiasi Kaca Dgn Plat abs 10 derajat

| Tt (K) | g (m/s <sup>2</sup> ) | β    | Viskositas kinematik μ (Ns/m <sup>2</sup> ) |            | Kec Kinematik α (m <sup>2</sup> /s) |            | Ra         |            | Nu          |             | k (W/mK) |       | h (W/m <sup>2</sup> K) |       | ε    | hr (W/m <sup>2</sup> K) |       |
|--------|-----------------------|------|---|------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|----------|-------|------------------------|-------|------|-------------------------|-------|
| 373.70 | 371.25                | 9.81 | 0.00267594                                  | 0.00269360 | 0.00002364                          | 0.00002339 | 0.00003414 | 0.00003376 | 12194055.21 | 20866697.20 | 15.96    | 18.25 | 15.96                  | 18.25 | 0.02 | 10.65                   | 10.44 |
| 377.40 | 376.95                | 9.81 | 0.00264971                                  | 0.00265287 | 0.00002403                          | 0.00002399 | 0.00003473 | 0.00003466 | 9343186.06  | 2728349.13  | 14.93    | 10.97 | 14.93                  | 10.97 | 0.02 | 10.97                   | 10.93 |
| 378.45 | 378.25                | 9.81 | 0.00264236                                  | 0.00264375 | 0.00002414                          | 0.00002412 | 0.00003490 | 0.00003486 | 8845935.01  | 4232901.54  | 14.72    | 12.25 | 14.72                  | 12.25 | 0.02 | 11.06                   | 11.03 |
| 379.95 | 379.50                | 9.81 | 0.00263193                                  | 0.00263505 | 0.00002430                          | 0.00002425 | 0.00003513 | 0.00003506 | 17767520.30 | 10597456.98 | 17.53    | 15.41 | 17.53                  | 15.41 | 0.02 | 11.20                   | 11.16 |
| 371.75 | 372.95                | 9.81 | 0.00268998                                  | 0.00268132 | 0.00002344                          | 0.00002356 | 0.00003384 | 0.00003403 | 12893828.82 | 14510708.46 | 16.18    | 16.66 | 16.18                  | 16.66 | 0.02 | 10.49                   | 10.59 |
| 362.10 | 364.30                | 9.81 | 0.00276167                                  | 0.00274499 | 0.00002242                          | 0.00002265 | 0.00003231 | 0.00003266 | 4674091.14  | 7433383.04  | 12.55    | 14.10 | 12.55                  | 14.10 | 0.02 | 9.69                    | 9.87  |

# Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Pipa Dan Kaca 2

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 10 derajat

| Tf (K) |        | $\beta$  |          | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) |          | Kec Kinematik $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) |          | Pr   |      | Ra     |        | Nu   |      | Kond udara (W/mK) |      | h (W/m <sup>2</sup> K) |      | $\epsilon$ | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |      |
|--------|--------|----------|----------|---|----------|--|----------|------|------|--------|--------|------|------|-------------------|------|------------------------|------|------------|---|-------------------------|------|
| 334.45 | 333.45 | 0.002990 | 0.002999 | 0.000020  | 0.000019 | 0.000028                                   | 0.000028 | 0.70 | 0.70 | 713.57 | 460.52 | 2.36 | 2.16 | 0.03              | 0.03 | 9.06                   | 8.30 | 0.03       | 0.00  | 7.66                    | 7.58 |
| 341.20 | 338.30 | 0.002931 | 0.002956 | 0.000020  | 0.000020 | 0.000029                                   | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 751.12 | 551.42 | 2.39 | 2.24 | 0.03              | 0.03 | 9.16                   | 8.60 | 0.03       | 0.00  | 8.14                    | 7.92 |
| 345.75 | 342.45 | 0.002892 | 0.002920 | 0.000021  | 0.000020 | 0.000030                                   | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 801.64 | 549.20 | 2.42 | 2.24 | 0.03              | 0.03 | 9.28                   | 8.60 | 0.03       | 0.00  | 8.47                    | 8.21 |
| 350.30 | 342.85 | 0.002855 | 0.002917 | 0.000021  | 0.000020 | 0.000030                                   | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 712.86 | 553.71 | 2.36 | 2.24 | 0.03              | 0.03 | 9.06                   | 8.61 | 0.03       | 0.00  | 8.81                    | 8.24 |
| 344.50 | 341.00 | 0.002903 | 0.002933 | 0.000021  | 0.000020 | 0.000030                                   | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 773.17 | 623.18 | 2.40 | 2.30 | 0.03              | 0.03 | 9.21                   | 8.82 | 0.03       | 0.00  | 8.38                    | 8.11 |
| 338.55 | 334.80 | 0.002954 | 0.002987 | 0.000020  | 0.000020 | 0.000029                                   | 0.000028 | 0.70 | 0.70 | 674.06 | 516.42 | 2.34 | 2.21 | 0.03              | 0.03 | 8.96                   | 8.49 | 0.03       | 0.00  | 7.94                    | 7.67 |

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 20 derajat

| Tf (K) |        | $\beta$  |          | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) |          | Kec Kinematik $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) |          | Pr   |      | Ra     |        | Nu   |      | Kond udara (W/mK) |      | h (W/m <sup>2</sup> K) |      | $\epsilon$ | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |      |
|--------|--------|----------|----------|---|----------|--|----------|------|------|--------|--------|------|------|-------------------|------|------------------------|------|------------|---|-------------------------|------|
| 340.00 | 338.35 | 0.002941 | 0.002956 | 0.000020  | 0.000020 | 0.000029                                   | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 627.85 | 679.88 | 2.30 | 2.34 | 0.03              | 0.03 | 8.83                   | 8.97 | 0.03       | 0.00  | 8.04                    | 7.93 |
| 350.00 | 348.75 | 0.002857 | 0.002867 | 0.000021  | 0.000021 | 0.000030                                   | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 732.60 | 763.63 | 2.37 | 2.39 | 0.03              | 0.03 | 9.11                   | 9.19 | 0.03       | 0.00  | 8.78                    | 8.69 |
| 352.80 | 352.20 | 0.002834 | 0.002839 | 0.000021  | 0.000021 | 0.000031                                   | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 758.86 | 768.04 | 2.39 | 2.40 | 0.03              | 0.03 | 9.17                   | 9.20 | 0.03       | 0.00  | 9.00                    | 8.96 |
| 353.95 | 354.85 | 0.002825 | 0.002818 | 0.000022  | 0.000022 | 0.000031                                   | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 726.80 | 705.75 | 2.37 | 2.36 | 0.03              | 0.03 | 9.09                   | 9.04 | 0.03       | 0.00  | 9.09                    | 9.16 |
| 349.00 | 349.10 | 0.002865 | 0.002865 | 0.000021  | 0.000021 | 0.000030                                   | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 680.38 | 679.49 | 2.34 | 2.34 | 0.03              | 0.03 | 8.97                   | 8.97 | 0.03       | 0.00  | 8.70                    | 8.71 |
| 344.05 | 343.10 | 0.002907 | 0.002915 | 0.000021  | 0.000020 | 0.000029                                   | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 607.22 | 609.44 | 2.29 | 2.29 | 0.03              | 0.03 | 8.77                   | 8.78 | 0.03       | 0.00  | 8.33                    | 8.26 |

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 30 derajat

| Tf (K) |        | $\beta$  |          | Viskositas kinematik $\mu$ (Ns/m <sup>2</sup> ) |          | Kec Kinematik $\alpha$ (m <sup>2</sup> /s) |          | Pr   |      | Ra     |        | Nu   |      | Kond udara (W/mK) |      | h (W/m <sup>2</sup> K) |      | $\epsilon$ | $\sigma$ (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | hr (W/m <sup>2</sup> K) |      |
|--------|--------|----------|----------|---|----------|--|----------|------|------|--------|--------|------|------|-------------------|------|------------------------|------|------------|---|-------------------------|------|
| 348.70 | 347.20 | 0.002868 | 0.002880 | 0.000021  | 0.000021 | 0.000030                                   | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 810.70 | 756.48 | 2.42 | 2.39 | 0.03              | 0.03 | 9.30                   | 9.17 | 0.03       | 0.00  | 8.69                    | 8.58 |
| 351.75 | 351.70 | 0.002843 | 0.002843 | 0.000021  | 0.000021 | 0.000031                                   | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 810.65 | 826.10 | 2.42 | 2.43 | 0.03              | 0.03 | 9.30                   | 9.33 | 0.03       | 0.00  | 8.93                    | 8.92 |
| 355.55 | 354.80 | 0.002813 | 0.002818 | 0.000022  | 0.000022 | 0.000031                                   | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 686.86 | 730.11 | 2.34 | 2.37 | 0.03              | 0.03 | 8.99                   | 9.10 | 0.03       | 0.00  | 9.21                    | 9.15 |
| 356.05 | 356.10 | 0.002809 | 0.002808 | 0.000022  | 0.000022 | 0.000031                                   | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 676.24 | 689.92 | 2.34 | 2.35 | 0.03              | 0.03 | 8.96                   | 9.00 | 0.03       | 0.00  | 9.25                    | 9.25 |
| 350.05 | 349.85 | 0.002857 | 0.002858 | 0.000021  | 0.000021 | 0.000030                                   | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 682.98 | 725.54 | 2.34 | 2.37 | 0.03              | 0.03 | 8.98                   | 9.09 | 0.03       | 0.00  | 8.78                    | 8.77 |
| 344.15 | 345.55 | 0.002906 | 0.002894 | 0.000021  | 0.000021 | 0.000029                                   | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 639.39 | 645.54 | 2.31 | 2.31 | 0.03              | 0.03 | 8.86                   | 8.88 | 0.03       | 0.00  | 8.34                    | 8.44 |

Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Pipa Dan Kaca 2 (*continued*)

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 10 derajat

| At   | Ac       | Ab   | Af       | k     | P    | m     |       | M    |      | h/km |      | Mi    |       | Sinh ml |      | Cosh ml |      | qf       |          | qmax |      | ηf   |      | ηθ   |      | θb    |       |
|------|----------|------|----------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|---------|------|---------|------|----------|----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.08 | 24.00 | 0.18 | 0.13 | 0.01 | 0.01 | 37.62 | 36.00 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.20 | 0.002987 | 0.002005 | 0.12 | 0.06 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 25.50 | 13.70 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.21 | 24.43 | 0.19 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 37.81 | 36.65 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.21 | 0.003230 | 0.002536 | 0.14 | 0.09 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 29.20 | 20.40 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.37 | 24.42 | 0.21 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 38.06 | 36.63 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.21 | 0.003495 | 0.002595 | 0.16 | 0.10 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 33.30 | 21.40 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.07 | 24.44 | 0.22 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 37.61 | 36.66 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.21 | 0.003654 | 0.002544 | 0.18 | 0.09 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 38.20 | 20.50 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.28 | 24.73 | 0.21 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 37.92 | 37.10 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.22 | 0.003622 | 0.002662 | 0.18 | 0.10 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 36.30 | 21.40 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 24.93 | 24.28 | 0.18 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | 37.40 | 36.41 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.21 | 0.003038 | 0.002231 | 0.13 | 0.07 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 27.00 | 16.20 |

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 20 derajat

| At   | Ac       | Ab   | Af       | k     | P    | m     |       | M    |      | h/km |      | Mi    |       | Sinh ml |      | Cosh ml |      | qf       |          | qmax |      | ηf   |      | ηθ   |      | θb    |       |
|------|----------|------|----------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|---------|------|---------|------|----------|----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 24.75 | 24.95 | 0.17 | 0.18 | 0.01 | 0.01 | 37.13 | 37.43 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.002882 | 0.002928 | 0.12 | 0.12 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 25.00 | 25.00 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.14 | 25.25 | 0.21 | 0.21 | 0.01 | 0.01 | 37.71 | 37.87 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.23 | 0.003557 | 0.003562 | 0.17 | 0.17 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 35.80 | 35.30 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.23 | 25.26 | 0.22 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 37.84 | 37.89 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.23 | 0.003676 | 0.003695 | 0.18 | 0.18 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 37.70 | 37.90 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.12 | 25.04 | 0.23 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 37.68 | 37.57 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003795 | 0.003736 | 0.20 | 0.19 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 40.90 | 40.10 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 24.95 | 24.95 | 0.21 | 0.21 | 0.01 | 0.01 | 37.43 | 37.42 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003470 | 0.003556 | 0.17 | 0.18 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 35.10 | 36.90 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 24.67 | 24.68 | 0.18 | 0.19 | 0.01 | 0.01 | 37.00 | 37.02 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.002974 | 0.003184 | 0.13 | 0.14 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 27.00 | 30.90 |

Perpan konveksi dan radiasi pipa dan penutup 30 derajat

| At   | Ac       | Ab   | Af       | k     | P    | m     |       | M    |      | h/km |      | Mi    |       | Sinh ml |      | Cosh ml |      | qf       |          | qmax |      | ηf   |      | ηθ   |      | θb    |       |
|------|----------|------|----------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|---------|------|---------|------|----------|----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.40 | 25.22 | 0.21 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 38.10 | 37.84 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.23 | 0.003627 | 0.003417 | 0.18 | 0.16 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 35.70 | 32.60 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 25.40 | 25.45 | 0.23 | 0.23 | 0.01 | 0.01 | 38.10 | 38.18 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.23 | 0.003862 | 0.003839 | 0.20 | 0.20 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 40.50 | 39.70 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 24.97 | 25.13 | 0.23 | 0.23 | 0.01 | 0.01 | 37.46 | 37.70 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003811 | 0.003877 | 0.20 | 0.21 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 42.20 | 42.60 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 24.94 | 24.99 | 0.23 | 0.23 | 0.01 | 0.01 | 37.40 | 37.48 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003817 | 0.003842 | 0.20 | 0.20 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 42.60 | 42.80 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 24.96 | 25.12 | 0.20 | 0.21 | 0.01 | 0.01 | 37.44 | 37.67 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003387 | 0.003589 | 0.16 | 0.18 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 33.40 | 36.60 |
| 0.44 | 0.000027 | 0.39 | 0.000530 | 53.00 | 0.10 | 24.80 | 24.82 | 0.18 | 0.19 | 0.01 | 0.01 | 37.20 | 37.23 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003000 | 0.003115 | 0.13 | 0.14 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 26.90 | 28.90 |

# Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Pipa Dan Pelat Absorber

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 10 derajat |        |          |          |          |          |          |          |      |      |        |        |      |      |      |      |      |      |      |            |           |
|--|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-----------|
| Tf   |        | β        |          | v        |          | α        |          | Pr   |      | Ra     |        | Nu   |      | k    |      | h    |      | ε    | σ          | hr        |
| 335.05   | 334.20 | 0.002985 | 0.002992 | 0.000020 | 0.000019 | 0.000028 | 0.000028 | 0.70 | 0.70 | 732.50 | 487.19 | 2.38 | 2.19 | 0.03 | 0.03 | 9.11 | 8.39 | 0.03 | 0.00000006 | 7.70 7.63 |
| 341.80   | 340.20 | 0.002926 | 0.002939 | 0.000020 | 0.000020 | 0.000029 | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 767.73 | 610.68 | 2.40 | 2.29 | 0.03 | 0.03 | 9.20 | 8.78 | 0.03 | 0.00000006 | 8.18 8.05 |
| 346.40   | 344.60 | 0.002887 | 0.002902 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000030 | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 817.87 | 611.88 | 2.43 | 2.29 | 0.03 | 0.03 | 9.32 | 8.78 | 0.03 | 0.00000006 | 8.52 8.37 |
| 350.75   | 344.60 | 0.002851 | 0.002902 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000031 | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 723.81 | 604.59 | 2.37 | 2.28 | 0.03 | 0.03 | 9.09 | 8.76 | 0.03 | 0.00000006 | 8.84 8.37 |
| 344.60   | 343.15 | 0.002902 | 0.002914 | 0.000021 | 0.000020 | 0.000030 | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 775.77 | 685.16 | 2.40 | 2.34 | 0.03 | 0.03 | 9.22 | 8.99 | 0.03 | 0.00000006 | 8.38 8.27 |
| 338.85   | 334.85 | 0.002951 | 0.002986 | 0.000020 | 0.000020 | 0.000029 | 0.000028 | 0.70 | 0.70 | 683.10 | 518.14 | 2.34 | 2.22 | 0.03 | 0.03 | 8.98 | 8.50 | 0.03 | 0.00000006 | 7.96 7.67 |

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 20 derajat |        |          |          |          |          |          |          |      |      |        |        |      |      |      |      |      |      |      |            |           |
|--|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-----------|
| Tf   |        | β        |          | v        |          | α        |          | Pr   |      | Ra     |        | Nu   |      | k    |      | h    |      | ε    | σ          | hr        |
| 342.50   | 340.55 | 0.002920 | 0.002936 | 0.000020 | 0.000020 | 0.000029 | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 700.56 | 744.33 | 2.35 | 2.38 | 0.03 | 0.03 | 9.03 | 9.14 | 0.03 | 0.00000006 | 8.23 8.09 |
| 352.35   | 350.90 | 0.002838 | 0.002850 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000031 | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 787.94 | 814.59 | 2.41 | 2.43 | 0.03 | 0.03 | 9.24 | 9.31 | 0.03 | 0.00000006 | 8.97 8.86 |
| 355.50   | 353.90 | 0.002813 | 0.002826 | 0.000022 | 0.000022 | 0.000031 | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 818.43 | 806.28 | 2.43 | 2.42 | 0.03 | 0.03 | 9.32 | 9.29 | 0.03 | 0.00000006 | 9.22 9.09 |
| 356.30   | 356.65 | 0.002807 | 0.002804 | 0.000022 | 0.000022 | 0.000031 | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 778.89 | 745.86 | 2.40 | 2.38 | 0.03 | 0.03 | 9.22 | 9.14 | 0.03 | 0.00000006 | 9.28 9.30 |
| 350.30   | 349.50 | 0.002855 | 0.002861 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000030 | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 712.86 | 689.60 | 2.36 | 2.35 | 0.03 | 0.03 | 9.06 | 9.00 | 0.03 | 0.00000006 | 8.81 8.74 |
| 344.60   | 343.55 | 0.002902 | 0.002911 | 0.000021 | 0.000020 | 0.000030 | 0.000029 | 0.70 | 0.70 | 622.80 | 622.39 | 2.30 | 2.30 | 0.03 | 0.03 | 8.81 | 8.81 | 0.03 | 0.00000006 | 8.37 8.30 |

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 30 derajat |        |          |          |          |          |          |          |      |      |        |        |      |      |      |      |      |      |      |            |           |
|--|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------------|-----------|
| Tf   |        | β        |          | v        |          | α        |          | Pr   |      | Ra     |        | Nu   |      | k    |      | h    |      | ε    | σ          | hr        |
| 350.20   | 349.75 | 0.002856 | 0.002859 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000030 | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 845.72 | 818.36 | 2.45 | 2.43 | 0.03 | 0.03 | 9.38 | 9.32 | 0.03 | 0.00000006 | 8.81 8.77 |
| 352.95   | 352.05 | 0.002833 | 0.002841 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000031 | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 837.38 | 833.93 | 2.44 | 2.44 | 0.03 | 0.03 | 9.36 | 9.35 | 0.03 | 0.00000006 | 9.02 8.95 |
| 356.70   | 355.35 | 0.002803 | 0.002814 | 0.000022 | 0.000022 | 0.000031 | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 712.71 | 742.43 | 2.36 | 2.38 | 0.03 | 0.03 | 9.06 | 9.13 | 0.03 | 0.00000006 | 9.30 9.20 |
| 358.40   | 357.50 | 0.002790 | 0.002797 | 0.000022 | 0.000022 | 0.000032 | 0.000032 | 0.70 | 0.70 | 728.08 | 720.96 | 2.37 | 2.37 | 0.03 | 0.03 | 9.10 | 9.08 | 0.03 | 0.00000006 | 9.44 9.37 |
| 351.60   | 351.60 | 0.002844 | 0.002844 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000031 | 0.000031 | 0.70 | 0.70 | 720.87 | 767.37 | 2.37 | 2.40 | 0.03 | 0.03 | 9.08 | 9.19 | 0.03 | 0.00000006 | 8.91 8.91 |
| 344.65   | 346.35 | 0.002901 | 0.002887 | 0.000021 | 0.000021 | 0.000030 | 0.000030 | 0.70 | 0.70 | 653.33 | 667.18 | 2.32 | 2.33 | 0.03 | 0.03 | 8.90 | 8.94 | 0.03 | 0.00000006 | 8.38 8.51 |

Perhitungan Perpan Konveksi Dan Radiasi Pipa Dengan Pelat Absorber *(continued)*

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 10 derajat |          |      |        |       |      |       |       |      |      |      |      |       |       |         |      |         |      |          |          |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--|----------|------|--------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|---------|------|---------|------|----------|----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| At   | Ac       | Ab   | Af     | k     | P    | m     |       | M    |      | h/km |      | ML    |       | Sinh ml |      | Cosh ml |      | af       |          | qmax |      | qf   |      | η0   |      | θb    |       |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.14 | 24.14 | 0.18 | 0.13 | 0.01 | 0.01 | 37.62 | 36.20 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.21 | 0.002998 | 0.002028 | 0.12 | 0.06 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 25.50 | 13.70 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.26 | 24.68 | 0.19 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 37.81 | 37.03 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.22 | 0.003240 | 0.002588 | 0.14 | 0.09 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 29.20 | 20.40 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.43 | 24.69 | 0.21 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 38.06 | 37.03 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.22 | 0.003505 | 0.002652 | 0.16 | 0.10 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 33.30 | 21.40 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.11 | 24.66 | 0.22 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 37.61 | 36.99 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003662 | 0.002589 | 0.18 | 0.10 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 38.20 | 20.50 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.29 | 24.97 | 0.21 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 37.92 | 37.46 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.22 | 0.003624 | 0.002713 | 0.18 | 0.10 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 36.30 | 21.40 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 24.97 | 24.28 | 0.18 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | 37.40 | 36.42 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.21 | 0.003044 | 0.002232 | 0.13 | 0.07 | 0.02 | 0.03 | 0.88 | 0.88 | 27.00 | 16.20 |

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 20 derajat |          |      |        |       |      |       |       |      |      |      |      |       |       |         |      |         |      |          |          |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--|----------|------|--------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|---------|------|---------|------|----------|----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| At   | Ac       | Ab   | Af     | k     | P    | m     |       | M    |      | h/km |      | ML    |       | Sinh ml |      | Cosh ml |      | af       |          | qmax |      | Hf   |      | η0   |      | θb    |       |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.03 | 25.18 | 0.18 | 0.18 | 0.01 | 0.01 | 37.13 | 37.78 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.23 | 0.002927 | 0.002983 | 0.12 | 0.12 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 25.00 | 25.00 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.33 | 25.41 | 0.21 | 0.21 | 0.01 | 0.01 | 37.71 | 38.12 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.23 | 0.003594 | 0.003610 | 0.18 | 0.17 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 35.80 | 35.30 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.42 | 25.39 | 0.22 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 37.84 | 38.08 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.23 | 0.003716 | 0.003732 | 0.19 | 0.19 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 37.70 | 37.90 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.30 | 25.18 | 0.23 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 37.68 | 37.78 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.23 | 0.003833 | 0.003778 | 0.20 | 0.19 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 40.90 | 40.10 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.07 | 24.99 | 0.21 | 0.21 | 0.01 | 0.01 | 37.43 | 37.48 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003493 | 0.003567 | 0.17 | 0.18 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 35.10 | 36.90 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 24.73 | 24.73 | 0.18 | 0.19 | 0.01 | 0.01 | 37.00 | 37.10 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.002985 | 0.003198 | 0.13 | 0.14 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 27.00 | 30.90 |

| Perpan konveksi dan radiasi pipa dan absorber 30 derajat |          |      |        |       |      |       |       |      |      |      |      |       |       |         |      |         |      |          |          |      |      |      |      |      |      |       |       |
|--|----------|------|--------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|---------|------|---------|------|----------|----------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| At   | Ac       | Ab   | Af     | k     | P    | m     |       | M    |      | h/km |      | ML    |       | Sinh ml |      | Cosh ml |      | af       |          | qmax |      | Hf   |      | η0   |      | θb    |       |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.51 | 25.43 | 0.21 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 38.10 | 38.14 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.23 | 0.003649 | 0.003472 | 0.18 | 0.16 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 35.70 | 32.60 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.49 | 25.47 | 0.23 | 0.23 | 0.01 | 0.01 | 38.10 | 38.21 | 0.01    | 0.01 | 1.23    | 1.23 | 0.003880 | 0.003846 | 0.20 | 0.20 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 40.50 | 39.70 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.07 | 25.17 | 0.23 | 0.23 | 0.01 | 0.01 | 37.46 | 37.76 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.23 | 0.003831 | 0.003890 | 0.20 | 0.21 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 42.20 | 42.60 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.12 | 25.10 | 0.23 | 0.23 | 0.01 | 0.01 | 37.40 | 37.65 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003857 | 0.003876 | 0.21 | 0.21 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 42.60 | 42.80 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 25.10 | 25.26 | 0.20 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 37.44 | 37.89 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.23 | 0.003413 | 0.003631 | 0.16 | 0.18 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 33.40 | 36.60 |
| 0.44   | 0.000027 | 0.39 | 0.0005 | 53.00 | 0.10 | 24.85 | 24.90 | 0.18 | 0.19 | 0.01 | 0.01 | 37.20 | 37.36 | 0.01    | 0.01 | 1.22    | 1.22 | 0.003009 | 0.003136 | 0.13 | 0.14 | 0.02 | 0.02 | 0.88 | 0.88 | 26.90 | 28.90 |

Perhitungan Perpan Konveksi Dan Konduksi Pipa Ke Fluida

| Perpan Konduksi Konveksi pada pipa ke fluida 10 derajat |       |        |        |        |        |        |          |          |      |      |      |       |       |          |          |        |        |         |         |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|------|------|------|-------|-------|----------|----------|--------|--------|---------|---------|
| Tf  |       | t      | Do     | Di     | ρ      |        | μ        |          | V    | Pr   |      | k     |       | Re       |          | Nu     |        | h       |         |
| 32.50   | 32.40 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 995.00 | 995.04 | 0.000779 | 0.000780 | 1.57 | 5.26 | 5.27 | 44.75 | 44.70 | 30149.02 | 30096.50 | 153.31 | 153.20 | 6418.59 | 6413.82 |
| 34.35   | 33.05 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 994.26 | 994.78 | 0.000753 | 0.000771 | 1.57 | 5.07 | 5.21 | 45.68 | 45.03 | 31155.65 | 30441.27 | 155.47 | 153.94 | 6508.97 | 6445.03 |
| 35.70   | 34.90 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 993.72 | 994.04 | 0.000734 | 0.000745 | 1.57 | 4.93 | 5.02 | 46.35 | 45.95 | 31934.72 | 31468.31 | 157.11 | 156.13 | 6577.64 | 6536.66 |
| 37.50   | 37.40 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 993.00 | 993.04 | 0.000709 | 0.000710 | 1.57 | 4.75 | 4.76 | 47.25 | 47.20 | 33037.64 | 32974.33 | 159.39 | 159.26 | 6673.02 | 6667.60 |
| 40.10   | 41.10 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 991.96 | 991.56 | 0.000673 | 0.000659 | 1.57 | 4.48 | 4.38 | 48.55 | 49.05 | 34775.53 | 35494.71 | 162.88 | 164.29 | 6819.15 | 6878.22 |
| 41.75   | 41.70 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 991.30 | 991.32 | 0.000650 | 0.000651 | 1.57 | 4.31 | 4.32 | 49.38 | 49.35 | 35978.66 | 35940.96 | 165.23 | 165.15 | 6917.51 | 6914.46 |

| Perpan Konduksi Konveksi pada pipa ke fluida 20 derajat |       |        |        |        |        |        |          |          |      |      |      |       |       |          |          |        |        |         |         |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|------|------|------|-------|-------|----------|----------|--------|--------|---------|---------|
| Tf  |       | t      | Do     | Di     | ρ      |        | μ        |          | V    | Pr   |      | k     |       | Re       |          | Nu     |        | h       |         |
| 33.45   | 33.45 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 994.62 | 994.62 | 0.000765 | 0.000765 | 1.57 | 5.17 | 5.17 | 45.23 | 45.23 | 30657.48 | 30657.48 | 154.41 | 154.41 | 6464.48 | 6464.48 |
| 35.55   | 35.25 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 993.78 | 993.90 | 0.000736 | 0.000740 | 1.57 | 4.95 | 4.98 | 46.28 | 46.13 | 31846.20 | 31670.64 | 156.92 | 156.56 | 6569.89 | 6554.49 |
| 37.25   | 37.30 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 993.10 | 993.08 | 0.000713 | 0.000712 | 1.57 | 4.77 | 4.77 | 47.13 | 47.15 | 32879.82 | 32911.26 | 159.06 | 159.13 | 6659.50 | 6662.19 |
| 40.10   | 40.50 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 991.96 | 991.80 | 0.000673 | 0.000667 | 1.57 | 4.48 | 4.44 | 48.55 | 48.75 | 34775.53 | 35059.61 | 162.88 | 163.44 | 6819.15 | 6842.58 |
| 41.45   | 41.35 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 991.42 | 991.46 | 0.000654 | 0.000656 | 1.57 | 4.34 | 4.35 | 49.23 | 49.18 | 35753.64 | 35679.26 | 164.79 | 164.65 | 6899.28 | 6893.24 |
| 42.60   | 42.80 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 990.96 | 990.88 | 0.000638 | 0.000635 | 1.57 | 4.22 | 4.20 | 49.80 | 49.90 | 36632.21 | 36789.52 | 166.48 | 166.78 | 6970.02 | 6982.56 |

| Perpan Konduksi Konveksi pada pipa ke fluida 30 derajat |       |        |        |        |        |        |          |          |      |      |      |       |       |          |          |        |        |         |         |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|------|------|------|-------|-------|----------|----------|--------|--------|---------|---------|
| Tf  |       | t      | Do     | Di     | ρ      |        | μ        |          | V    | Pr   |      | k     |       | Re       |          | Nu     |        | h       |         |
| 33.40   | 33.50 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 994.64 | 994.60 | 0.000766 | 0.000765 | 1.57 | 5.17 | 5.16 | 45.20 | 45.25 | 30630.29 | 30684.73 | 154.35 | 154.46 | 6462.04 | 6466.93 |
| 36.75   | 36.65 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 993.30 | 993.34 | 0.000719 | 0.000721 | 1.57 | 4.83 | 4.84 | 46.88 | 46.83 | 32568.77 | 32507.28 | 158.43 | 158.30 | 6632.73 | 6627.42 |
| 39.00   | 39.20 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 992.40 | 992.32 | 0.000688 | 0.000685 | 1.57 | 4.59 | 4.57 | 48.00 | 48.10 | 34017.99 | 34153.21 | 161.37 | 161.64 | 6756.06 | 6767.39 |
| 41.30   | 41.25 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 991.48 | 991.50 | 0.000656 | 0.000657 | 1.57 | 4.36 | 4.36 | 49.15 | 49.13 | 35642.20 | 35605.21 | 164.58 | 164.50 | 6890.23 | 6887.22 |
| 42.70   | 42.50 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 990.92 | 991.00 | 0.000637 | 0.000640 | 1.57 | 4.21 | 4.23 | 49.85 | 49.75 | 36710.69 | 36554.07 | 166.63 | 166.33 | 6976.28 | 6963.77 |
| 43.45   | 43.65 | 0.0006 | 0.0154 | 0.0150 | 990.62 | 990.54 | 0.000626 | 0.000624 | 1.57 | 4.14 | 4.12 | 50.23 | 50.33 | 37310.41 | 37473.73 | 167.77 | 168.07 | 7023.84 | 7036.71 |



Perhitungan Perpan Bagian Bawah Kolektor

| Perpan bagian bawah 10 derajat |        |           |      |          |          |           |      |
|--------------------------------|--------|-----------|------|----------|----------|-----------|------|
| k abs                          |        | k triplek | k gw | R abs    |          | R triplek | R gw |
| 112.66                         | 112.90 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 112.33                         | 112.54 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 112.07                         | 112.35 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 111.97                         | 112.36 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 112.19                         | 112.34 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 112.53                         | 112.84 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |

| Perpan bagian bawah 20 derajat |        |           |      |          |          |           |      |
|--------------------------------|--------|-----------|------|----------|----------|-----------|------|
| k abs                          |        | k triplek | k gw | R abs    |          | R triplek | R gw |
| 112.36                         | 112.40 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 111.83                         | 111.87 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 111.65                         | 111.74 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 111.66                         | 111.68 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 112.00                         | 112.06 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 112.34                         | 112.39 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |

| Perpan bagian bawah 30 derajat |        |           |      |          |          |           |      |
|--------------------------------|--------|-----------|------|----------|----------|-----------|------|
| k abs                          |        | k triplek | k gw | R abs    |          | R triplek | R gw |
| 111.87                         | 111.92 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 111.75                         | 111.79 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 111.71                         | 111.74 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 111.62                         | 111.67 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 111.93                         | 111.89 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |
| 112.31                         | 112.22 | 0.17      | 0.04 | 0.000018 | 0.000018 | 0.02      | 2.70 |

# Perhitungan Koefisien Rugi Panas Menyeluruh

Koefisien rugi panas menyeluruh 10 derajat

| R Kaca-lingkungan |              | R kaca1-kaca2 |              | R Pipa-Kaca  |              | R Pipa-Absorber |              | R Absorber-Kaca |              | R Pipa-Fluida |              | R Dalam Kolektor |              | R Bag Atas   |              | R Bag Bawah  |              | U Atas       |              | U Bawah      |              | U Total      |              |
|-------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.10423<br>5      | 0.08678<br>4 | 0.10685<br>4  | 0.09523<br>1 | 0.08949<br>6 | 0.09257<br>4 | 0.08900<br>7    | 0.09182<br>3 | 0.04450<br>2    | 0.04386<br>5 | 0.00147<br>4  | 0.00147<br>5 | 0.03568<br>0     | 0.03549<br>0 | 0.24676<br>9 | 0.21750<br>5 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.05237<br>6 | 4.59760<br>1 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.41918<br>0 | 4.96440<br>8 |
| 0.11036<br>4      | 0.08765<br>9 | 0.10437<br>2  | 0.08941<br>9 | 0.08555<br>6 | 0.08883<br>4 | 0.08511<br>7    | 0.08723<br>2 | 0.04384<br>6    | 0.03743<br>3 | 0.00144<br>6  | 0.00146<br>5 | 0.03494<br>4     | 0.03091<br>1 | 0.24968<br>7 | 0.20798<br>0 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.00511<br>4 | 4.80799<br>5 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.37191<br>0 | 5.17480<br>9 |
| 0.08684<br>4      | 0.07766<br>9 | 0.10143<br>2  | 0.08519<br>2 | 0.08283<br>9 | 0.08658<br>2 | 0.08239<br>8    | 0.08486<br>9 | 0.04278<br>5    | 0.03663<br>5 | 0.00142<br>6  | 0.00143<br>8 | 0.03404<br>0     | 0.03022<br>9 | 0.22232<br>9 | 0.19309<br>0 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.49783<br>8 | 5.17892<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.86464<br>2 | 5.54572<br>8 |
| 0.08466<br>6      | 0.07543<br>3 | 0.10117<br>1  | 0.08119<br>7 | 0.08117<br>2 | 0.08632<br>2 | 0.08086<br>9    | 0.08493<br>0 | 0.04470<br>7    | 0.03803<br>0 | 0.00140<br>0  | 0.00140<br>2 | 0.03510<br>5     | 0.03116<br>6 | 0.22094<br>1 | 0.18779<br>5 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.52609<br>8 | 5.32494<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.89290<br>2 | 5.69175<br>7 |
| 0.10770<br>6      | 0.07736<br>7 | 0.10133<br>3  | 0.08498<br>0 | 0.08368<br>2 | 0.08669<br>4 | 0.08361<br>9    | 0.08502<br>2 | 0.05466<br>4    | 0.03645<br>1 | 0.00136<br>6  | 0.00135<br>1 | 0.04128<br>6     | 0.03011<br>5 | 0.25032<br>8 | 0.19245<br>0 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 3.99481<br>9 | 5.19594<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.36161<br>6 | 5.56275<br>3 |
| 0.10618<br>1      | 0.08251<br>2 | 0.10678<br>5  | 0.09175<br>8 | 0.08758<br>7 | 0.09116<br>0 | 0.08734<br>9    | 0.09111<br>3 | 0.04885<br>9    | 0.06333<br>2 | 0.00134<br>2  | 0.00134<br>3 | 0.03825<br>6     | 0.04709<br>1 | 0.25122<br>1 | 0.22136<br>8 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 3.98054<br>2 | 4.51751<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.34734<br>6 | 4.88431<br>8 |

Koefisien rugi panas menyeluruh 20 derajat

| R Kaca-lingkungan |              | R kaca1-kaca2 |              | R Pipa-Kaca  |              | R Pipa-Absorber |              | R Absorber-Kaca |              | R Pipa-Fluida |              | R Dalam Kolektor |              | R Bag Atas   |              | R Bag Bawah  |              | U Atas       |              | U Bawah      |              | U Total      |              |
|-------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.08813<br>0      | 0.09116<br>7 | 0.10749<br>2  | 0.09045<br>5 | 0.08719<br>7 | 0.08764<br>3 | 0.08525<br>6    | 0.08594<br>5 | 0.03521<br>9    | 0.03606<br>1 | 0.00145<br>9  | 0.00145<br>9 | 0.02928<br>8     | 0.02990<br>1 | 0.22491<br>0 | 0.21152<br>3 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.44622<br>3 | 4.72761<br>9 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.81302<br>8 | 5.09442<br>4 |
| 0.07433<br>9      | 0.07958<br>5 | 0.10076<br>0  | 0.08109<br>5 | 0.08118<br>0 | 0.08158<br>8 | 0.07964<br>1    | 0.08017<br>7 | 0.03507<br>3    | 0.03564<br>7 | 0.00142<br>8  | 0.00143<br>3 | 0.02883<br>8     | 0.02925<br>7 | 0.20393<br>8 | 0.18993<br>6 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.90345<br>5 | 5.26492<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 5.27026<br>4 | 5.63172<br>9 |
| 0.07700<br>9      | 0.07736<br>1 | 0.09838<br>6  | 0.07914<br>5 | 0.07961<br>5 | 0.07984<br>8 | 0.07792<br>5    | 0.07877<br>8 | 0.03412<br>9    | 0.03567<br>1 | 0.00140<br>1  | 0.00140<br>4 | 0.02809<br>6     | 0.02990<br>2 | 0.20349<br>2 | 0.18640<br>9 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.91419<br>7 | 5.36455<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 5.28100<br>1 | 5.73135<br>9 |
| 0.07559<br>3      | 0.08160<br>0 | 0.09805<br>2  | 0.07741<br>6 | 0.07927<br>6 | 0.07897<br>8 | 0.07779<br>4    | 0.07783<br>9 | 0.03486<br>2    | 0.03630<br>2 | 0.00136<br>4  | 0.00135<br>9 | 0.02857<br>6     | 0.02952<br>4 | 0.20221<br>9 | 0.18854<br>6 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.94512<br>4 | 5.30386<br>6 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 5.31192<br>7 | 5.67066<br>8 |
| 0.08101<br>3      | 0.07819<br>3 | 0.10239<br>1  | 0.08200<br>1 | 0.08206<br>4 | 0.08202<br>1 | 0.08117<br>3    | 0.08174<br>9 | 0.03859<br>4    | 0.04571<br>0 | 0.00134<br>6  | 0.00134<br>8 | 0.03126<br>6     | 0.03580<br>0 | 0.21467<br>9 | 0.19599<br>2 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.65831<br>6 | 5.10213<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 5.02511<br>7 | 5.46894<br>0 |
| 0.09264<br>2      | 0.08911<br>7 | 0.10777<br>3  | 0.08751<br>9 | 0.08521<br>0 | 0.08570<br>1 | 0.08478<br>7    | 0.08535<br>5 | 0.04442<br>5    | 0.04588<br>5 | 0.00133<br>1  | 0.00132<br>9 | 0.03527<br>9     | 0.03623<br>9 | 0.23569<br>3 | 0.21287<br>5 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.24281<br>5 | 4.69758<br>3 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.60961<br>4 | 5.06438<br>8 |

Koefisien rugi panas menyeluruh 30 derajat

| R Kaca-lingkungan |              | R kaca1-kaca2 |              | R Pipa-Kaca  |              | R Pipa-Absorber |              | R Absorber-Kaca |              | R Pipa-Fluida |              | R Dalam Kolektor |              | R Bag Atas   |              | R Bag Bawah  |              | U Atas       |              | U Bawah      |              | U Total      |              |
|-------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|---------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 0.08249<br>3      | 0.09459<br>0 | 0.09917<br>7  | 0.08234<br>8 | 0.08129<br>3 | 0.08241<br>8 | 0.08032<br>1    | 0.08071<br>7 | 0.03758<br>3    | 0.03485<br>1 | 0.00146<br>8  | 0.00145<br>8 | 0.03054<br>4     | 0.02876<br>1 | 0.21221<br>3 | 0.20570<br>0 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.71224<br>1 | 4.86145<br>8 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 5.07904<br>5 | 5.22826<br>2 |
| 0.07830<br>1      | 0.07786<br>7 | 0.09794<br>1  | 0.07913<br>2 | 0.07979<br>0 | 0.07971<br>0 | 0.07903<br>5    | 0.07949<br>3 | 0.03861<br>0    | 0.04564<br>9 | 0.00141<br>9  | 0.00141<br>4 | 0.03111<br>7     | 0.03554<br>3 | 0.20735<br>7 | 0.19254<br>6 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.82263<br>7 | 5.19357<br>6 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 5.18944<br>4 | 5.56038<br>0 |
| 0.07572<br>2      | 0.08340<br>1 | 0.09666<br>8  | 0.07664<br>3 | 0.07877<br>0 | 0.07883<br>7 | 0.07803<br>3    | 0.07848<br>9 | 0.03877<br>6    | 0.04293<br>9 | 0.00137<br>1  | 0.00137<br>4 | 0.03114<br>2     | 0.03379<br>0 | 0.20353<br>4 | 0.19383<br>0 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.91322<br>1 | 5.15905<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 5.28002<br>8 | 5.52585<br>5 |
| 0.08853<br>0      | 0.07888<br>0 | 0.09757<br>3  | 0.07622<br>3 | 0.07860<br>3 | 0.07848<br>3 | 0.07712<br>4    | 0.07759<br>9 | 0.03481<br>2    | 0.03764<br>8 | 0.00134<br>9  | 0.00134<br>4 | 0.02849<br>6     | 0.03038<br>3 | 0.21439<br>5 | 0.18548<br>0 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.66420<br>5 | 5.39128<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 5.03101<br>0 | 5.75808<br>9 |
| 0.09752<br>6      | 0.09157<br>9 | 0.10079<br>0  | 0.08194<br>2 | 0.08151<br>2 | 0.08130<br>6 | 0.08046<br>4    | 0.08014<br>1 | 0.03750<br>6    | 0.03669<br>3 | 0.00133<br>0  | 0.00133<br>2 | 0.03049<br>0     | 0.02994<br>4 | 0.22881<br>3 | 0.20346<br>2 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.37038<br>3 | 4.91492<br>1 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.73718<br>4 | 5.28172<br>4 |
| 0.09045<br>5      | 0.08579<br>6 | 0.10442<br>0  | 0.08745<br>9 | 0.08488<br>5 | 0.08410<br>3 | 0.08450<br>8    | 0.08351<br>5 | 0.04495<br>3    | 0.04172<br>4 | 0.00132<br>0  | 0.00131<br>8 | 0.03558<br>3     | 0.03346<br>0 | 0.23045<br>8 | 0.20671<br>5 | 2.72625<br>0 | 2.72625<br>0 | 4.33919<br>8 | 4.83758<br>4 | 0.36680<br>4 | 0.36680<br>4 | 4.70599<br>4 | 5.20439<br>2 |

# Perhitungan Faktor Pelepasan Panas

Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 10 derajat

| Jam         | kp (W/mK)  |            | W (m)    | δp (m)   | D (m)    | Cp          |             | Ae       | n        | κ        |          | γ        | R         |           |          |          |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 09.00-10.00 | 127.015000 | 127.360000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.050000 | 4178.040000 | 0.750000 | 1.384898 | 1.465856 | 0.178978 | 0.173449 | -4.615134 | -4.991456 | 0.003308 | 0.003310 |
| 10.00-11.00 | 126.545000 | 126.855000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.235000 | 4178.105000 | 0.750000 | 1.380028 | 1.499601 | 0.178673 | 0.170242 | -4.593616 | -5.159074 | 0.003262 | 0.003294 |
| 11.00-12.00 | 126.180000 | 126.580000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.370000 | 4178.290000 | 0.750000 | 1.457822 | 1.554072 | 0.172436 | 0.165819 | -4.952503 | -5.443744 | 0.003228 | 0.003248 |
| 12.00-13.00 | 126.035000 | 126.590000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.550000 | 4178.540000 | 0.750000 | 1.462891 | 1.574336 | 0.171864 | 0.164319 | -4.977037 | -5.554257 | 0.003182 | 0.003184 |
| 13.00-14.00 | 126.355000 | 126.570000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.810000 | 4178.910000 | 0.750000 | 1.379436 | 1.556517 | 0.178448 | 0.165624 | -4.591011 | -5.456944 | 0.003113 | 0.003087 |
| 14.00-15.00 | 126.840000 | 127.285000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.975000 | 4178.970000 | 0.750000 | 1.374543 | 1.454413 | 0.179493 | 0.174200 | -4.569527 | -4.936083 | 0.003069 | 0.003071 |

Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 20 derajat

| Jam         | kp (W/mK)  |            | W (m)    | δp (m)   | D (m)    | Cp          |             | Ac       | n        | κ        |          | γ        | R         |           |          |          |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 09.00-10.00 | 126.590000 | 126.655000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.145000 | 4178.145000 | 0.750000 | 1.447717 | 1.489055 | 0.173745 | 0.170765 | -4.904025 | -5.105984 | 0.003284 | 0.003284 |
| 10.00-11.00 | 125.835000 | 125.890000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.355000 | 4178.325000 | 0.750000 | 1.519461 | 1.570361 | 0.167409 | 0.163706 | -5.260811 | -5.532377 | 0.003232 | 0.003239 |
| 11.00-12.00 | 125.580000 | 125.705000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.525000 | 4178.530000 | 0.750000 | 1.522552 | 1.585356 | 0.166841 | 0.162353 | -5.276856 | -5.615430 | 0.003188 | 0.003187 |
| 12.00-13.00 | 125.590000 | 125.620000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.810000 | 4178.850000 | 0.750000 | 1.526943 | 1.577473 | 0.166530 | 0.162828 | -5.299746 | -5.571593 | 0.003113 | 0.003103 |
| 13.00-14.00 | 126.080000 | 126.165000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.945000 | 4178.935000 | 0.750000 | 1.482260 | 1.545811 | 0.170493 | 0.165890 | -5.072118 | -5.399424 | 0.003077 | 0.003080 |
| 14.00-15.00 | 126.565000 | 126.630000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4179.060000 | 4179.080000 | 0.750000 | 1.416935 | 1.484805 | 0.175986 | 0.171047 | -4.759813 | -5.084774 | 0.003046 | 0.003041 |

Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 30 derajat

| Jam         | kp (W/mK)  |            | W (m)    | δp (m)   | D (m)    | Cp          |             | Ae       | n        | κ        |          | γ        | R         |           |          |          |
|-------------|------------|------------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 09.00-10.00 | 125.890000 | 125.960000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.140000 | 4178.150000 | 0.750000 | 1.491316 | 1.512644 | 0.169566 | 0.168081 | -5.117313 | -5.225625 | 0.003286 | 0.003283 |
| 10.00-11.00 | 125.720000 | 125.785000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.475000 | 4178.465000 | 0.750000 | 1.508455 | 1.561033 | 0.168070 | 0.164261 | -5.204144 | -5.481421 | 0.003201 | 0.003204 |
| 11.00-12.00 | 125.670000 | 125.710000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.700000 | 4178.720000 | 0.750000 | 1.521867 | 1.556643 | 0.167012 | 0.164489 | -5.273292 | -5.457628 | 0.003143 | 0.003137 |
| 12.00-13.00 | 125.535000 | 125.605000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4178.930000 | 4178.925000 | 0.750000 | 1.486345 | 1.589681 | 0.169455 | 0.161904 | -5.092445 | -5.639650 | 0.003081 | 0.003083 |
| 13.00-14.00 | 125.985000 | 125.915000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4179.070000 | 4179.050000 | 0.750000 | 1.439710 | 1.520630 | 0.173505 | 0.167429 | -4.866013 | -5.266869 | 0.003043 | 0.003049 |
| 14.00-15.00 | 126.520000 | 126.395000 | 0.120000 | 0.000200 | 0.015000 | 4179.145000 | 4179.165000 | 0.750000 | 1.431926 | 1.506587 | 0.174817 | 0.169112 | -4.829397 | -5.194598 | 0.003023 | 0.003017 |

Perhitungan Faktor Pelepasan Panas (*continued*)

| Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 10 derajat |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| κR  |          | F1       |          | F2       |          | F3       |          | F4       |          | F5       |          | F6       |          | FR       |          |
| 0.000592                                      | 0.000574 | 0.779080 | 0.741957 | 0.276069 | 0.249998 | 0.002236 | 0.002392 | 3.481509 | 3.873013 | 6.103788 | 6.873042 | 0.859230 | 0.872984 | 0.763087 | 0.755471 |
| 0.000583                                      | 0.000561 | 0.781517 | 0.727943 | 0.277735 | 0.239911 | 0.002221 | 0.002447 | 3.458906 | 4.046481 | 6.059466 | 7.214695 | 0.858346 | 0.878267 | 0.763558 | 0.752273 |
| 0.000557                                      | 0.000539 | 0.745475 | 0.706860 | 0.252484 | 0.224525 | 0.002358 | 0.002548 | 3.832321 | 4.340127 | 6.792962 | 7.793968 | 0.871679 | 0.886286 | 0.756273 | 0.747070 |
| 0.000547                                      | 0.000523 | 0.743315 | 0.699481 | 0.250932 | 0.219078 | 0.002367 | 0.002591 | 3.857633 | 4.453700 | 6.842773 | 8.018287 | 0.872494 | 0.889114 | 0.755807 | 0.745136 |
| 0.000556                                      | 0.000511 | 0.781894 | 0.706042 | 0.277962 | 0.223885 | 0.002221 | 0.002559 | 3.455846 | 4.353207 | 6.053466 | 7.819795 | 0.858226 | 0.886619 | 0.763652 | 0.746883 |
| 0.000551                                      | 0.000535 | 0.784354 | 0.747026 | 0.279642 | 0.253560 | 0.002222 | 0.002378 | 3.433328 | 3.814949 | 6.009324 | 6.758784 | 0.857333 | 0.871114 | 0.764111 | 0.756621 |

| Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 20 derajat |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| κR  |          | F1       |          | F2       |          | F3       |          | F4       |          | F5       |          | F6       |          | FR       |          |
| 0.000571                                      | 0.000561 | 0.749853 | 0.732253 | 0.255614 | 0.243021 | 0.002345 | 0.002424 | 3.782186 | 3.991519 | 6.694338 | 7.106397 | 0.870034 | 0.876641 | 0.757207 | 0.753285 |
| 0.000541                                      | 0.000530 | 0.720085 | 0.700897 | 0.234187 | 0.220131 | 0.002468 | 0.002566 | 4.151348 | 4.431308 | 7.421440 | 7.974048 | 0.881255 | 0.888568 | 0.750409 | 0.745515 |
| 0.000532                                      | 0.000517 | 0.718903 | 0.695553 | 0.233315 | 0.216173 | 0.002470 | 0.002594 | 4.167764 | 4.516555 | 7.453817 | 8.142490 | 0.881710 | 0.890621 | 0.750130 | 0.744086 |
| 0.000518                                      | 0.000505 | 0.717237 | 0.698411 | 0.232082 | 0.218262 | 0.002482 | 0.002580 | 4.191166 | 4.471184 | 7.499978 | 8.052831 | 0.882353 | 0.889537 | 0.749730 | 0.744874 |
| 0.000525                                      | 0.000511 | 0.735184 | 0.710045 | 0.245080 | 0.226819 | 0.002408 | 0.002531 | 3.955856 | 4.293895 | 7.036150 | 7.702698 | 0.875562 | 0.885093 | 0.753997 | 0.747921 |
| 0.000536                                      | 0.000520 | 0.763910 | 0.734140 | 0.265473 | 0.244324 | 0.002296 | 0.002424 | 3.631693 | 3.968890 | 6.398548 | 7.061822 | 0.864838 | 0.879599 | 0.760166 | 0.753757 |

| Perhitungan Faktor Pelepasan Panas 30 derajat |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| κR  |          | F1       |          | F2       |          | F3       |          | F4       |          | F5       |          | F6       |          | FR       |          |
| 0.000557                                      | 0.000552 | 0.731335 | 0.722741 | 0.242354 | 0.236132 | 0.002413 | 0.002455 | 4.003190 | 4.115168 | 7.129391 | 7.350095 | 0.876990 | 0.880241 | 0.753081 | 0.751045 |
| 0.000538                                      | 0.000526 | 0.724454 | 0.704323 | 0.237354 | 0.222645 | 0.002446 | 0.002548 | 4.092717 | 4.378726 | 7.305852 | 7.870189 | 0.879603 | 0.887263 | 0.751472 | 0.746426 |
| 0.000525                                      | 0.000516 | 0.719194 | 0.705979 | 0.233517 | 0.223846 | 0.002472 | 0.002540 | 4.163957 | 4.354005 | 7.446309 | 7.821372 | 0.881605 | 0.886639 | 0.750207 | 0.746870 |
| 0.000522                                      | 0.000499 | 0.733496 | 0.694083 | 0.243863 | 0.215059 | 0.002405 | 0.002604 | 3.976868 | 4.541093 | 7.077536 | 8.190987 | 0.876200 | 0.891198 | 0.753616 | 0.743702 |
| 0.000528                                      | 0.000510 | 0.753543 | 0.719725 | 0.258173 | 0.233882 | 0.002327 | 0.002478 | 3.742065 | 4.157067 | 6.615442 | 7.432719 | 0.868688 | 0.881414 | 0.758035 | 0.750348 |
| 0.000528                                      | 0.000510 | 0.757048 | 0.725290 | 0.260646 | 0.237922 | 0.002324 | 0.002462 | 3.704003 | 4.082371 | 6.540621 | 7.285437 | 0.867385 | 0.879306 | 0.758765 | 0.751692 |

Perhitungan Energi Dan Efisiensi

| Energi dan efisiensi 10 derajat |        |           |        |                       |        |                  |       |
|---------------------------------|--------|-----------|--------|-----------------------|--------|------------------|-------|
| Qu solar kolektor               |        | Qu Losses |        | Qu solar water heater |        | η solar kolektor |       |
| 294.99                          | 296.11 | 156.39    | 157.50 | 138.60                | 138.61 | 60.06            | 58.91 |
| 342.66                          | 325.33 | 171.07    | 153.66 | 171.58                | 171.67 | 60.53            | 57.90 |
| 359.50                          | 345.66 | 128.79    | 114.87 | 230.71                | 230.78 | 58.58            | 56.99 |
| 367.92                          | 345.07 | 114.32    | 78.41  | 253.60                | 266.66 | 56.69            | 55.21 |
| 270.60                          | 261.39 | 50.30     | 41.19  | 220.30                | 220.21 | 55.53            | 53.80 |
| 223.16                          | 239.73 | 62.06     | 55.60  | 161.10                | 184.12 | 55.63            | 55.76 |

| Energi dan efisiensi 20 derajat |        |           |        |                       |        |                  |       |
|---------------------------------|--------|-----------|--------|-----------------------|--------|------------------|-------|
| Qu solar kolektor               |        | Qu Losses |        | Qu solar water heater |        | η solar kolektor |       |
| 310.73                          | 315.07 | 139.09    | 143.43 | 171.64                | 171.64 | 58.90            | 58.31 |
| 381.43                          | 338.72 | 163.78    | 121.05 | 217.65                | 217.68 | 58.66            | 57.97 |
| 383.39                          | 352.46 | 129.77    | 101.90 | 253.62                | 250.56 | 57.35            | 57.51 |
| 353.81                          | 352.50 | 57.45     | 56.19  | 296.36                | 296.32 | 54.75            | 55.30 |
| 289.94                          | 242.90 | 56.75     | 9.70   | 233.19                | 233.20 | 53.53            | 54.82 |
| 224.49                          | 271.58 | 55.43     | 102.54 | 169.05                | 169.04 | 55.87            | 55.23 |

| Energi dan efisiensi 30 derajat |        |           |        |                       |        |                  |       |
|---------------------------------|--------|-----------|--------|-----------------------|--------|------------------|-------|
| Qu solar kolektor               |        | Qu Losses |        | Qu solar water heater |        | η solar kolektor |       |
| 327.40                          | 316.37 | 142.66    | 131.64 | 184.74                | 184.73 | 57.08            | 57.45 |
| 368.39                          | 351.11 | 160.84    | 143.55 | 207.55                | 207.56 | 55.94            | 55.98 |
| 374.10                          | 346.31 | 97.62     | 69.85  | 276.48                | 276.46 | 55.03            | 55.48 |
| 378.22                          | 353.62 | 55.95     | 54.37  | 322.26                | 299.25 | 54.74            | 54.39 |
| 287.80                          | 277.70 | 21.73     | 11.61  | 266.07                | 266.09 | 53.46            | 53.25 |
| 251.37                          | 271.87 | 54.38     | 74.90  | 196.99                | 196.97 | 53.87            | 53.24 |



## DAFTAR PUSTAKA

- Yazmendra, Rosa, Hanif, Dan Zulhendri. Optimasi Udara Panas Keluaran Kolektor Surya. 2004. Politeknik Negeri Padang. Padang. Indonesia.
- Philip, Kristanto, San, And Yoe Kiem. Pengaruh Tebal Pelat dan Jarak Antara Pipa Terhadap Performansi Kolektor Surya Pelat Datar. 2001. Universitas Kristen Petra. Surabaya. Indonesia
- Gati, M. Matilda. Desain Kolektor Plat Datar (Flat Plat) Untuk Pemanas Air. 2003. Universitas Gajah Mada. DIY. Indonesia.
- M.Burhan, R.Wijaya, Samsudin, Anis, And Karnowo. Pemanfaatan Kolektor Surya Pemanas Air Dengan Menggunakan Seng Bekas Sebagai Absorber Untuk Mereduksi Pemakaian Bahan Bakar Minyak Rumah Tangga. 2006. Universitas Negeri Semarang. Semarang. Indonesia.
- Sitorus, Tulu., Ambarita, Himsar., Hazwi, Mulfi., Sitepu, And Tekad. Pengaruh Sudut Penyinaran dan Laju Aliran Terhadap Efisiensi Termal Pada Solar Kolektor Tipe Pelat Datar. 2010. USU Padang Bulan. Medan.
- Sucipta, Made. Performansi Kolektor Surya Tubular Terkonsentrasi dengan Pipa Penyerap Dibentuk Anulus dengan Variasi Posisi Pipa Penyerap. 2011. Universitas Udayana. Bali. Indonesia

- Dabra, Yadav V, And Yadav A. The effect of tilt angle on the performance of evacuated tube solar air collector: experimental analysis. 2013. Energy Research Center Lehigh University. Betlehem.
- Incropera, Frank P and De Witt, David P. **Fundamental of Heat and Mass Transfer**. 5<sup>th</sup> Edition. 2002. John Wiley & Sons Inc. New York.
- Duffie J. A And Beckmann W. A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. Second Edition. 1991. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- Wirapraja, Edo. Analisis Kerja Pemanas Air Menggunakan Kolektor Surya Pelat Datar Dengan Satu Kaca Penutup. 2012. Tugas Akhir Diploma III Teknik Mesin. ITS. Surabaya. Indonesia.



## RIWAYAT PENULIS



Penulis dilahirkan di Jepara pada tanggal 30 Mei 1990 dan merupakan anak kedua pasangan Sutrisno dan Sumarni dari 2 bersaudara. Penulis menyelesaikan masa studi Sekolah Dasar di SDN 2 Bumiharjo, Kec. Keling, Kab. Jepara pada tahun 2002, dilanjutkan ke SMPN 1 Keling lulus pada tahun 2005 dan SMAN 3 Pati lulus pada tahun 2008.

Selepas SMA, penulis melanjutkan studinya di Politeknik Negeri Semarang mengambil Program Diploma Teknik Mesin lulus tahun 2011. Pada tahun 2012 penulis memutuskan untuk melanjutkan studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Jurusan Teknik Mesin Program Lintas Jalur pada tahun ajaran 2012/2013. Penulis mengambil studi konversi energi sebagai topik dasar Tugas Akhir penulis. Pada tahun 2015 penulis berhasil menyelesaikan studi S1-nya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.